Archive of SID

پمپ خلأ بارومتری موتوری

وثیق زاده انصاری، حمید

شرکت سبزپژوهان اسپادانا، s-p-spadana.com

چکیده

در این مقاله، جنبه‌های فیزیکی متمایز یک نوع پمپ خلأ پیستونی جدید اختراع شده بیان می‌گردد. این جنبه‌ها عمدتاً عبارتند از مکانیسم‌های بدیع به‌کار گرفته شده برای کنترل هوشمند باز و بسته شدن دریچه‌های ورودی و خروجی اتاقک‌های خلأ پمپ پیستونی و استفاده از غوطه‌وری کامل در روغن به‌عنوان درزبند.

مقدمه

در ابتدای دوره‌ای که نیاز به ایجاد خلأ بالا در صنایع مختلف مثلاً برای ساخت لامپ‌های مختلف الکتریکی احساس شد، از نخستین مکانیزمی که چنین خلأی را ایجاد می‌کرد استفاده شد. این نخستین مکانیزم، خلأی بود که در بالای ستون جیوه در یک بارومتر ایجاد می‌شود. چنین خلأی یک خلأ عالی محسوب می‌شود زیرا در روند ایجاد آن کوچک‌ترین روزنه‌ای به هوای خارج وجود ندارد و بنابر این می‌توان گفت که حتی یک مولکول هوای نفوذی از بیرون به داخل خلأ یا یک مولکول از هوای باقی‌مانده در محفظه‌ی خلأ در چنین خلأی موجود نیست و تنها فشار بخار مایع موجود در بارومتر (عموماً جیوه) در این محفظه وجود دارد که بیشینه فشار گاز موجود در این خلأ را تشکیل می‌دهد که البته این فشار در دمای معمولی از مرتبه‌ای است که امکان ایجاد خلأ یالا را می‌دهد (کمتر از یک هزارم میلیمتر جیوه). بنابر این مخترعینِ اوایل دوره‌ی توسعه‌ی تکنیک خلأ به فکر استفاده‌ی کاربردی از این خلأ عالی برای کارها و تولیدات صنعتی که در آنها به نوعی نیاز به ایجاد خلأ خوب بود افتادند و مثلاً ادیسون با ایجاد خلأ از همین طریق موفق به اختراع و تولید لامپ الکتریکی شد.

روشن است که روش‌های دستی برای استفاده از خلأ ایجاد شده در بالای ستون جیوه سخت بود زیرا مثلاً مستلزم این می‌بود که انسانی نسبتاً قوی هیکل و پر بنیه به طور مرتب دستگاه حجیم و سنگینِ حاوی ستون جیوه را بالا و پایین ببرد که بالا و پایین رفتن سطح جیوه در داخل لوله‌ی بسته‌ی نسبتاً ضخیم حاوی جیوه همچون تلمبه‌ای عمل کرده و حجم خلأ بالای ستون جیوه را زیاد و کم کرده و از طریق لوله و اتصالات وصل شده به این محفظه عملیات دم و بازدم در محفظه‌ی بیرونی مورد نظر، مثلاً لامپ، صورت گیرد و به طور مرتب تا حدی که ممکن بود، که مثلاً احتمالاً یکی از پارامترهای آن توان ادامه‌ی کار آن فرد قوی هیکل بود، هوای آن تخلیه شود. با پیشرفت تکنیک خلأ، این روند ایجاد خلأ، با استفاده از شگردهایی به صورت نیمه اتوماتیک در آمد و مثلاً وظیفه‌ی بالا و پایین بردن سیستم به عهده‌ی دستگاه‌های مکانیکی گذاشته شد. [۱ و ۲]

اما این تکنیک ایجاد خلأ، هرچند منجر به تولید خلأی با کیفیت می‌شد، چندان بسط و ادامه نیافت زیرا تکنیک‌های دیگری برای ایجاد خلأ ابداع و گسترش یافت که عملیاتی‌تر به نظر می‌رسیدند و مثلاً خلأ مورد نیاز در بسیاری از صنایع در حال توسعه را، که در آنها خلأی با کیفیت پایین‌تر هم کفایت می‌کرد اما مثلاً سرعت بیشتر تخلیه در آنها مهم‌تر بود، راحت‌تر تأمین می‌نمودند. [۳] در طراحی پمپ خلأ موضوع این مقاله نوعی بازگشت به بسط و گسترش و موتوری کردن همان تکنیک گفته شده‌ی اولیه‌ی ایجاد خلأ با کیفیت، وجود دارد. به زبان ساده، در آن تکنیک با استفاده از روشی زوری شکافی یا حفره‌ای در داخل حجمی یا عمقی از یک مایع ایجاد می‌شود که روشن است که چون این حفره راهی به هوای بیرون ندارد عاری از هر مولکولی از هواست، اما چون دیواره‌های داخلی این حفره بعضاً از سطوح همان مایع تشکیل شده‌اند لاجرم بخار آن مایع در این حفره وجود

www.SID.ir

Archive of SID

خواهد داشت. چنین حفره‌ای در بارومتر با برگرداندن یک لوله‌ی به اندازه‌ی کافی بلند پر از جیوه یا روغن در ظرفی محتوی همان مایع به این صورت ایجاد می‌شود که وزن سنگین جیوه یا روغن که بیش از وزن ستون هوای بیرون است به صورت زوری ستون مایع را در لوله‌ی سربسته‌ی وارونه شده پایین می‌کشد و لاجرم حفره‌ای در بالای ستون تشکیل می‌شود که هیچ چیز در آن نیست جز مولکول‌های نسبتاً اندک موجد فشار اندک بخار آن مایع در این خلأ. سؤالی که در اینجا به ذهن می‌رسد، و شاید در ابتدا به دلیل عدم توسعه‌ی همه جانبه‌ی تکنیک گفته شده‌ی اولیه‌ی ایجاد خلأ کمتر به ذهن مخترعین خطور می‌کرد، این است که آیا این، تنها مکانیسم زوری است که از طریق آن ما می‌توانیم شکاف، حفره، یا خلأی در دل یک مایع با فشار بخار اندک برای تولید خلأ مناسب ایجاد کنیم؟ آیا مثلاً قابل تصور نیست که با استفاده از وسایل طراحی شده‌ی مکانیکی مناسب، چنین حفره‌ای را با زور در دل یک مایع ایجاد کنیم تا سپس متعاقباً از خلأ آن بتوانیم به نحو مناسب استفاده کنیم؟ آیا مثلاً کاری را که وزن سنگین ستون جیوه در ایجاد شکاف در داخل مایع انجام می‌دهد نمی‌توانیم توسط یک مکانیسم پیستونی و اعمال فشار به دیواره‌هایی از داخل مایع و دور کردن زوریِ دیواره‌ها از یکدیگر جهت انبساط حفره انجام دهیم؟ پاسخ مثبت است چون اتفاقاً این دقیقاً همان کاری است که در یک سرنگ با کشیدن پیستون آن رو به بالا در درون یک مایع انجام می‌دهیم.

ویژگی‌های اصلی پمپ خلأ

پس اگر از مکانیسمی شبیه مکانیسم گفته شده‌ی سرنگ در داخل یک مایع گاززدایی (یا دی‌گَس) شده استفاده کنیم می‌توانیم با استفاده از مکانیسمی زوری خلأی مشابه با خلأ بارومتری موجود در بالای ستون جیوه ایجاد کنیم. مکانیسم سرنگ بلافاصله به ذهنِ یک طراح مکانیک متبادر می‌کند که می‌توان عملیات تکرار ایجاد حفره‌ی خلأ سرنگی را کاملاً مکانیزه و موتوری کرد، و این همان کاری است که در ساخت پمپ خلأ بارومتری موتوری، انجام شده است که بنا بر توضیحات فوق کار بدیعی محسوب می‌شود.

استفاده از مکانیسم گفته شده‌ی سرنگ و بسط آن برای ایجاد این پمپ خلأ در واقع استفاده از مکانیسم پمپ خلأی پیستونی در شرایطی کاملا ویژه است. می‌دانیم که برای ایجاد خلأ مورد نیاز در صنایع مختلف، از انواع گوناگون پمپ خلأ استفاده می‌شود که تفاوت کارکردی آنها در دو عامل سرعت تخلیه و کیفیت نهایی خلأ قابل حصول یا حداقل فشار گاز مانده در محفظه‌ی خلأ پس از تخلیه‌ی آن با پمپ می‌باشد. [٤] در میان انواع پمپ‌های خلأ موجود، پمپ‌های پیستونی به خاطر مکانیسم روتین و نسبتاً ساده‌ای که در ساخت آنها به‌کار می‌رود از قیمت نسبتاً پایین‌تر و سرعت پمپاژ نسبتاً بالاتری برخوردارند، اما همین مکانیسم به‌علاوه ایجاب می‌کند که فشار نهایی قابل حصول توسط این پمپ‌ها در مقایسه با دیگر پمپ‌های خلأ، نسبتاً بالا باشد (شاید بتوان گفت این فشار برای انواع پمپ‌های پیستونی رایج به‌طور متوسط بین ده تا بیست تور است). علت کم بودن نسبی کیفیت خلأ ایجاد شده توسط این پمپ‌ها یا بالا بودن فشار مانده در آنها عمدتاً مربوط به مکانیسم‌های به‌کار گرفته شده در منافذ خروجی و ورودی گاز در اتاقک‌های خلأ این پمپ‌ها می‌باشد که آنها را در اینجا توضیح می‌دهیم.

یکی از مکانیسم‌های درزبندی محفظه‌ی خلأ در این نوع پمپ‌های رایج عمدتاً سطوح تماس بین گلوله یا سوپاپ و سوراخ یا منفذ خروج گاز در این محفظه‌ها در مجاورت فشار هوای بیرون است که صرف نظر از کیفیت درزبندی، در زمان هر چند کوتاه بسته شدن روزنه‌ی خروجی بر اثر فشار هوای بیرون به هنگام مرحله‌ی مکشِ پیستون پمپ، مقداری ولو اندک هوا به داخل اتاقک خلأ واقع در بالای پیستون پمپ مکیده می‌شود در حالی‌که در پمپ خلأ اختراعیِ موضوع این مقاله، تا ارتفاع مشخصی در اطراف محل تماس سوپاپ یا گلوله و سوراخ اتاقک خلأ پمپ، پر از روغن است و مکش اندک فوق الذکر، هوا را به داخل اتاقک نمی‌کشد بلکه باعث مکش مقداری اندک از روغن به داخل این اتاقک می‌شود که به حجم روغن‌های قبلی موجود در این اتاقک

www.SID.ir

Archive of SID

می‌افزاید اما باعث خراب کردن خلأ با هوای مکیده شده نمی‌شود. ممکن است برای رفع این نقیصه در پمپ‌های پیستونی رایج از گلوله یا سوپاپ‌هایی در منفذ خروجی اتاقک خلأ پمپ استفاده شود که در حالت عادی مثلا بر اثر وزن خود یا فشار یک فنر، روزنه‌ی خروجی را بسته نگاه می‌دارند و بنابر این مانع مکیده شدن مقدار اندک گفته شده در بالا از هوای خارج به داخل اتاقک خلأ پمپ به هنگام مرحله‌ی مکش می‌شوند، اما چنین مکانیسمی این عیب را دارد که فشار هوای داخل اتاقک خلأ به هنگام مرحله‌ی تخلیه هرگز نمی‌تواند کمتر از حداقل فشار لازم برای غلبه بر وزن سوپاپ یا گلوله یا نیروی فشاردهنده‌ی فنر پشت آنها برای اخراج گاز درون محفظه‌ی خلأ شود، درحالی‌که برای رفع این نقیصه‌ی عمده‌ی پمپ‌های پیستونی، در پمپ اختراعی موضوع مقاله از گلوله یا سوپاپ‌هایی در محفظه‌ی خروجی استفاده شده است که در مکانیسمی با استفاده از فنرهای کششی در حالت عادی و بی‌فشار روزنه‌ی خروجی را اندکی باز نگاه می‌دارند که تنها به هنگام مکش خلأی پمپ، تحت فشار غیر مستقیم هوای بیرون، بسته می‌شوند.

برای منفذ ورودی نیز در پمپ‌های رایج پیستونی از گلوله یا سوپاپی استفاده می‌شود که در حالت عادی بر اثر فشار فنری اعمال شده بر پشت آن همواره روزنه‌ی ورودی را بسته نگاه می‌دارد و تنها وقتی که فشار گاز داخل اتاقک خلأ پمپ بر اثر حجیم شدن این اتاقک کمتر از افزونی فشار داخل لوله‌ی متصل به منفذ ورودی (که در جانب دیگر خود به محفظه‌ای وصل است که می‌خواهیم هوای آن را توسط پمپ تخلیه کنیم) نسبت به فشار ناشی از نیروی فنری گفته شده شود این روزنه باز می‌شود و عمل مکش در مرحله‌ی مکش پمپ انجام می‌شود و گرنه در این مرحله، مکشی صورت نخواهد گرفت. روشن است که برای کم کردن بیشتر فشار در محفظه‌ای که می‌خواهیم هوای آن‌را توسط چنین پمپی تخلیه کنیم باید حتی‌الامکان فشار فنری ذکر شده را در مکانیسم منفذ ورودی کاهش دهیم و به هر حال فشار قابل حصول نمی‌تواند کمتر از فشار لازم برای غلبه بر این نیروی فنری برای باز کردن منفذ ورودی شود. از طرفی اگر نیروی فنری پشت گلوله یا سوپاپ منفذ ورودی بیش از حد کاهش یابد درزبندی خوبی در منفذ ورودی صورت نمی‌گیرد و این باعث برگشت مجدد حداقل قسمتی از گازی که در مرحله‌ی مکش به داخل اتاقک خلأ پمپ وارد شده بود به همان محفظه‌ای که می‌خواهیم هوایش را تخلیه کنیم در مرحله‌ی بازدم می‌شود. برای رفع این نقیصه‌ی منفذهای ورودی پمپ‌های پیستونی رایج، در پمپ خلأ اختراعی موضوع این مقاله از سوپاپ یا گلوله‌ایی استفاده شده که به‌طور عادی تحت فشار فنری نسبتا زیاد پشت آن، روزنه‌ی ورودی را با درزبندی خوبی می‌بندد اما در زمان مناسب و با هدایت الکتریکی به واسطه‌ی یک سلنوئید، این روزنه را به نحو و اندازه‌ی مناسب باز می‌کند. این هدایت الکتریکی از طریق گایدهای مناسب مکانیکی که در تطابق با موقعیت پیستون‌ها از طریق میکروسویچ‌های مناسب به سلنوئیدها جریان اکتریکی می‌دهند صورت می‌گیرد.

ااشکال دیگری که پمپ‌های پیستونی رایج دارند در مکانیسمِ دیگرِ درزبندی محفظه‌ی خلأ آنهاست و آن این است که در حالی‌که قاعده‌ی پیستون، قسمتی از دیواره‌ی اتاقک خلأ داخل پمپ را تشکیل می‌دهد مکانیسم تماس پیستون با سطح داخلی سیلندری که پیستون در داخل آن حرکت می‌کند از طریق رینگ، ارینگ، یا پکینگ برقرار می‌شود و این تماس، فاصلِ فشار هوای بیرون (که البته در فاصله‌ی اندک موجود بین سطح خارجی استوانه‌ای پیستون و سطح استوانه‌ای داخلی سیلندر کاهش می‌یابد) و خلأ ایجاد شده بر اثر انبساط در درون اتاقک خلأ پمپ می‌باشد که هر چقدر هم که این تماس حرکتی خوب باشد نمی‌تواند کاملاً مانع ورود همه‌ی مولکول‌های هوای بیرون به درون اتاقک از این طریق شود که این امر خود یکی از علل نسبتاً پایین بودن کیفیت خلأ در پمپ‌های پیستونی است. این نقیصه در طرح پمپ خلأ اختراعی موضوع این مقاله به این‌گونه رفع شده است که فضای اطراف محل تماس مذکور (و حتی تا ارتفاعی بالاتر از بالاترین نقطه‌ی این تماس) پر از روغن است و نفوذ مذکور را نه هوا (که فشار گاز در اتاقک را بالا می‌برد) بلکه روغن انجام می‌دهد که نهایتا حداکثر باعث اضافه شدن مقدار کمی روغن به روغن موجود در اتاقک خلأ در هر سیکل می‌شود که این مقدار اضافه شده

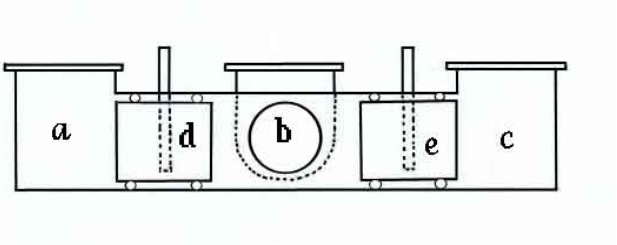
www.SID.ir

Archive of SID

مجددا در پایان سیکل از طریق منفذ خروجی نهایتاً به جای نخستِ خود پمپاژ می‌شود.

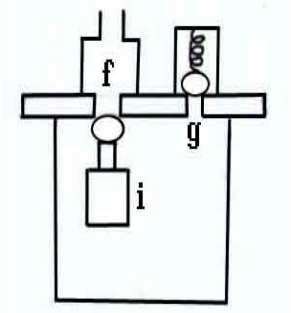
نکات آزمایشی و عملیاتی پمپ

این پمپ متشکل از سیلندری است که در دو انتها و در میان خود به سه اتاقک خلأ (a، b، و c در شکل ۱) وصل شده است. این سه اتاقک توسط دو پیستون (d و e)، که از طریق شافت‌هایی در میان خود، حرکت رفت و برگشتی را از یک میل لنگ (در حال چرخش توسط یک الکتروموتور) می‌گیرند جدا می‌شوند. حرکت مداومِ به هم نزدیک شونده یا از هم دور شونده‌ی پیستون‌ها عملیات دم و بازدم را در اتاقک‌های خلأ انجام می‌دهد.



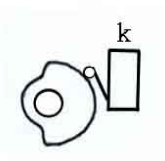
شکل۱ : دیاگرام کلی بدنه‌ی سیلندری و پیستون‌های متحرک داخل آن و اتاقک‌های خلأ پمپ

در هر اتاقکِ خلأ یک روزنه‌ی ورودی (f در شکل ۲)، که توسط یک سلنوئید (i) باز و بسته می‌شود، و یک روزنه‌ی خروجی (g)، که در حالت عادی توسط فنری ضعیف همواره باز نگاه داشته می‌شود، وجود دارد.



شکل۲ : برش عمودی اتاقک خلأ و شیرهای روزنه‌های آن

تناوب جریان‌گیریِ سلنوئید (i) توسط میکروسویچ (k در شکل ۳) تعبیه شده بر شافت خروجی میل لنگ و از طریق صفحه گایدی که به نحو مناسب طراحی و ساخته شده است تأمین می‌شود.



شکل۳ : سلنوئید و صفحه راهنمایی که آنرا به‌موقع باز و بسته می‌کند

سرعت تخلیه‌ی پمپ به طور نظری با محاسبه‌ی فورمول $4\pi r^2 lT$ به دست می‌آید که در آن r شعاع داخلی سیلندر، و l میزان حداکثر جابه‌جایی افقی گژن پین دسته شاتون میل لنگ، و T تعداد دور در واحد زمان میل لنگ می‌باشد. با توجه به این موارد، سرعت تخلیه‌ی ۸/۶۲ $m^3.h^{-1}$ ، با به‌کارگیری اکتروموتور-گیربکسی با rpm در حدود ۱۸۷، به دست می‌آید. شرایط فیزیکی مسئله، که شتاب سقوط آزاد سطح روغن در اتاقک‌های خلأ ایجاب می‌کند، اجازه‌ی استفاده از rpmی بیش از ۳۰۰ را نمی‌دهد و لذا حداکثر سرعت تخلیه‌ی قابل حصول برای این پمپ با استفاده از موتور-گیربکس مناسب عبارت خواهد بود از ۱۳/۸ $m^3.h^{-1}$. با استفاده از همین مکانیسم و با تغییر ابعاد پمپ (r و l) می‌توان پمپ‌هایی از همین نوع با سرعت تخلیه‌ی بالای مطلوب ساخت.

تست کمینه فشار حاصل توسط پمپ به وسیله‌ی گیج‌های عقربه‌ای مکانیکی، که قادرند تنها حدود فشار به دست آمده را نشان دهند، نشان دهنده‌ی به دست آمدن خلأی مشابه با بهترین خلأ قابل حصول توسط پمپ‌های های وکیوم موجود در بازار می‌باشد. برای کنترل دقیق فشار نیاز به فشار سنج یا خلأ سنجی است که ضمن برخورداری از دقت بالا، نسبت به وجود بخار اندک روغن، که در این پمپ اجتناب ناپذیر است، حساس نباشد. استفاده از پیرانی گیج ساخت شرکت یارنیکان صالح که برای تست خلأ به دست آمده توسط این پمپ مورد استفاده قرار گرفت

www.SID.ir

Archive of SID

حصول خلأ زیر یک تور را مسجل کرد اما (سوای تلرانس وسیع دقت آن) به علت حساسیت فیلامان این نوع گیج نسبت به بخار روغن، که باعث ناپایداری آن در نشان دادن میزان خلأ در فشارهای بسیار کم می‌شد، تعیین دقیق حداقل فشار به دست آمده، که از لحاظ نظری مورد انتظار است که در محدوده‌ی های وکیوم باشد، ممکن نگردید و استفاده از گیج‌های دقیق‌تر و مناسب‌تر برای این مورد به‌خصوص در دستور کار قرار دارد.

همان‌گونه که قبلا بیان شد یکی از ویژگی‌های این پمپ، انجام تقریباً تمام فرایندهای خلأسازی در محیط روغن است. از این رو در حال حاضر در این پمپ از مدیوم روغن هیدرولیک استفاده شده است. مکانیسم درزبندی روغنی خلأ در جزئی‌ترین فرایند کار این پمپ ایجاب می‌کند حداقل فشار قابل حصول از لحاظ نظری تنها در حد فشار بخار روغن مورد استفاده در دمای معمولی باشد. بنا بر این در صورتی که از روغنی با فشار بخار بسیار پایین استفاده شود مورد انتظار است که کمینه فشار حاصل برابر با فشار بخار روغن مورد استفاده باشد. این موضوع ایجاب می‌کند که درصورت استفاده از روغن‌های مخصوص دیفیوژن پمپ، خلأی عالی به دست آید. مشخصات برخی از این روغن‌ها در جدول ۱ آمده است [٤].

جایگزینی روغن هیدرولیک مورد استفاده‌ی فعلی در این پمپ با روغن پمپ دیفیوژن، برای ارتقای کیفیت خلأ، نیز در دستور کار قرار دارد.

جدول۱ : مشخصات روغن‌های مورد استفاده در دیفیوژن پمپ

نام روغن	فشار بخار در ۲۰ درجه سانتیگراد (Torr)	نقطه جوش در ٦١ تور	نقطه جوش در ۱ تور
DC_{702}	$۱۰^{-۵}$	۱٤٥	۱۹۰
DC_{703}	$۱۰^{-۱۰}$	۲۱۰	۲٥۰
اکتیل $C_6H_4(COOC_8H_{17})_2$	۲×۱۰^{-۷}	۱٥٥	۱۹۰
اکتیل $C_8H_{16}(COOC_8H_{17})_2$	۲×۱۰^{-۸}	۱۷۰	۲۱۰

نتیجه‌گیری

از آنجا که پمپ خلأ موضوع این مقاله پمپی پیستونی است ولذا ساخت آن نیاز به مکانیزم پیچیده و حساس و خیلی دقیقی ندارد قیمت تمام شده‌ی پمپ در مقایسه با کارکرد آن چندان زیاد نخواهد بود زیرا همچنان‌که در توضیحات بالا مشاهده شد کیفیت خلأ به‌دست آمده توسط این پمپ بسیار بهتر از پمپ‌های خلأ پیستونی رایج می‌باشد و از لحاظ نظری این پمپ در رده‌ی پمپ‌های های وکیوم محسوب می‌شود بدون اینکه برای نیل به خلأ بالا نیاز به پمپ‌های کمکی یا پشتی داشته باشد. به این ترتیب به نظر می‌رسد این پمپ با گسترش تجاری در بازارهای فنی و تحقیقاتی و انجام مراحل تکمیلی بیشتر در بهبود کیفیت آن می‌تواند جایگاه مناسبی را در بین انواع پمپ‌های خلأ موجود به خود اختصاص دهد.

مرجع‌ها

[۱] Andrew Guthrie; *"Vacuum Technology"*; John Wiley & Sons, Inc; New York and London; 1963

[۲] R. W. Cahn; *"The Coming of Materials Science"*; Pergamon, University of Michigan, (2001) 405.

[۳] Van Atta, C. M.; and M. Hablanian. *"Vacuum and Vacuum Technology"*. In Rita G. Lerner and George L. Trigg. Encyclopedia of Physics (Second ed.). VCH Publishers Inc.. (1991) pp 1330–1333. ISBN 3-527-26954-1

[٤] فرخی، صمد؛ *«خلأسازی و خلأسنجی»*؛ مؤسسه‌ی انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۱۳۸۷

www.SID.ir