فصل دو

اصول فیزیک سیالات در غواصی

Hydrostatic principle in Diving Physics

برای درک مشکلات جسمانی و فیزیولوژیکی و مقابله غواص با آن، یادآوری تعدادی از قوانین اصلی فیزیکی در طبیعت مفید خواهد بود.

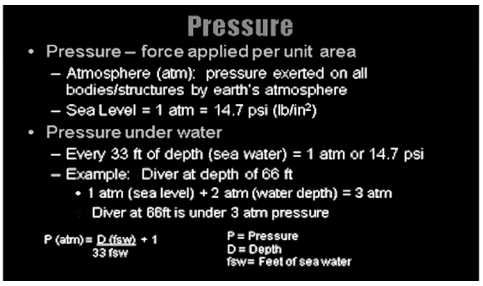
فشار PRESSURE

برخی از خطرات مهم فیزیکی به اثرات فشار مرتبط است. فشار به عنوان نیروی در واحد سطح تعریف شده است. به عنوان مثال:

$$\text{فشار} = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح}}$$

اگر نیرویی در سطح دو برابر پخش شود فشار نصف شده است.

اگر نیرو به سطح وسیعتری وارد شود فشار کمتر می‌شود و بالعکس. فشار هوای اتمسفر زمین در سطح دریا حدود ۷۶۰ میلی‌متر جیوه است که در سیستمST معادل ۱۰۶/۳ کیلو پاسکال یا 10^5 پاسکال است. یک پاسکال معادل یک نیوتن بر اینچ مربع است. در غواصی، فشار[1] با فشار مطلق[2] کمی متفاوت است که میتواند ناشی از اختلاف جرم حجمی آب منطقه یا ارتفاع از سطح فرضی دریا باشد.



شکل ۱-۲

فشار حقیقی در آب شور و آب شیرین و دما و ارتفاع یک ناحیه به ناحیه دیگر فرق می‌کند. به هر حال به ازای افزایش هر ۱۰/۱۱۳ متر عمق آب شور و ۱۰/۳۸ متر آب شیرین، فشار یک اتمسفر بالا می‌رود.

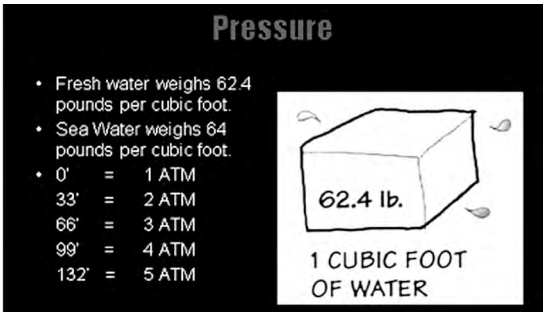
---

۱ GAUGE

۲ ABSOLUTE

به عنوان مثال، این فرمول توضیح می‌دهد که چرا لاستیک‌های پهن برای غواصی در کنار ساحل بهتر می‌باشند. وزن وسیله (نیرو) هنگامیکه بیش از حد در یک منطقه وسیع پخش شود فشار کمتری را روی ماسه ایجاد می‌کند. احتمال ندارد که این وسیله نسبت به وسایل لاستیکی باریک در شن و ماسه فرو رود.

اثر پاشنه stilleto روی عرشه قایق چوبی سبک



شکل ۱-۲

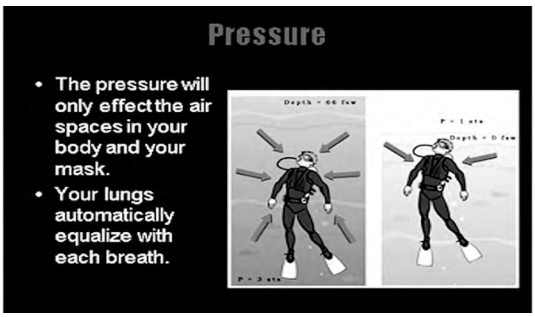
گازها فشار دارند زیرا آن‌ها از تعداد زیادی مولکول‌های سریع ساخته شده‌اند. و هرچه تعداد آنها بیشتر و حرکت آنها سریعتر باشد فشار بیشتر است.

فشار بر غواص Diving Pressure

عملکرد فشار بر روی غواص غوطه ور به دو شکل تفسیم بندی می‌شود:

۱- جو بالای آب که فشار اتمسفریک Atmospheric Pressure نامیده می‌شود.

۲- وزن آبی که بالای سر غواص است فشارهیدرواستاتیک Hydrostatic Pressure نامیده می‌شود.



شکل۲-۲

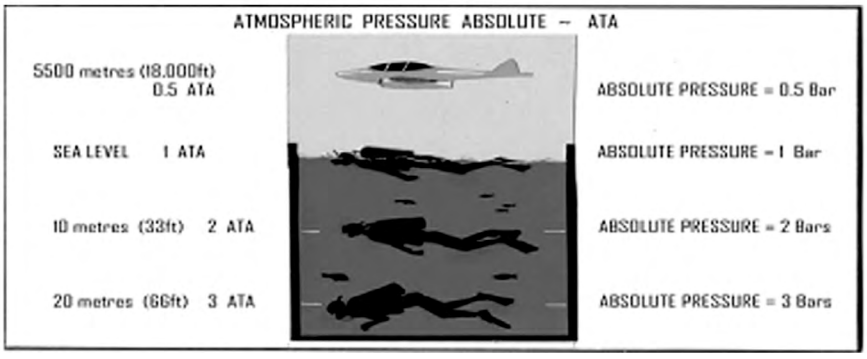
فشارسنج‌های غواصان تنها با خواندن فشار هیدرواستاتیک کالیبره می‌شوند (عمق آب) به طوریکه آنها در سطح دریا عدد صفر را نشان میدهند . فشارسنج‌ها یک اتمسفرفشارهوای بالاتر از سر غواص‌ها را نمی‌خوانند لذا «فشارسنج» همیشه یک اتمسفر کمتر از فشار واقعی یا «فشار مطلق» است.
اکنون ما آن را به دقت شرح خواهیم داد.

فشار اتمسفر Atmospheric Pressure

اتمسفر بالای زمین تقریباً ۱۵۰ کیلومتر ارتفاع دارد. اگرچه هوا بسیار سبک است این مقدار از هوا وزن قابل توجهی دارد و فشار قابل توجهی را روی سطح زمین ایجاد می کند. فشار جوی در سطح دریا به شکل «یک اتمسفر» یا «یک بار» نشان داده می‌شود.
این همان۱,۱,۳Kpa کیلوپاسکال ،۱ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع، ۷۶۰ میلی‌متر جیوه، ۱۴۰۷ psi است. در ارتفاعات بالاتر فشار اتمسفر کاهش می‌یابد و عاملی است که اثر قابل توجهی را روی غواصی در دریاچه‌های بالای کوه به جا می‌گذارد. (فصل ۶ را نگاه کنید).

ATA ~ فشار مطلق اتمسفر

۰/۵ بار= فشار مطلق	۰/۵ ATA	۵۵۰۰(Ft۱۸۰۰۰۰) متر
۱ بار= فشار مطلق	۱ ATA	SEALEVEL
۲ بار= فشار مطلق	۲ ATA	۱۰ متر
۳ بار= فشار مطلق	۳ ATA	۲۰ متر



شکل ۲-۲

فشار اتمسفری و هیدروستاتیکی (عمق) افزایش یافته است و در نتیجه به فشار مطلق تبدیل شده است.
آب نسبت به هوا بسیار متراکم‌تر است و عمق ۱۰متری (یا ۳۳ فوت) از آب دریا همان فشار را نشان می‌دهد (وزن) که به صورت کل ۱۴۰ کیلومتر هوای اتمسفر می تواند ایجاد کند یعنی ATA ۱.
به واسطه هر ۱۰ متر اضافی که غواص پایین می‌رود آب فشار بیشتری را اعمال می‌کند که معادل با اتمسفر است.

شکل ۴-۲

واحدهای متداول فشار (حدود)

1 ATMOSPHERE =	10 metres sea water
=	33 feet sea water
=	34 feet fresh water
=	1 kg/cm^2
=	14.7 lbs/in^2, psi
=	1 bar
=	101.3 kilopascals, kPa
=	760 millimetres mercury, mm Hg.

جدول ۱-۲

۱ اتمسفر = ۱۰ متر آب دریا =ـ۳۳ فوت آب دریا = ۳۴ فوت آب شیرین

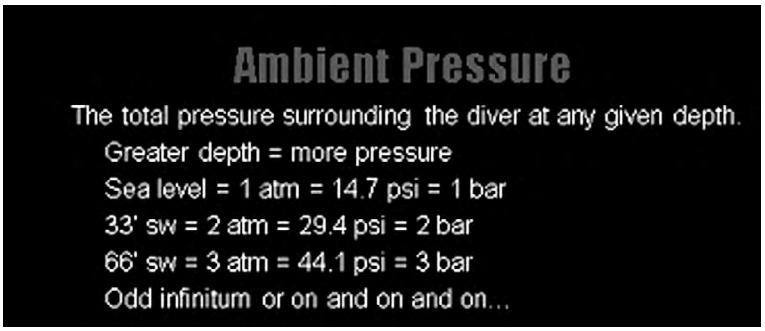
فشار مطلق **Absolute pressure**

در عمق اعمال فشار کل بر روی غواص، با توجه به فشار اتمسفر صورت می‌گیرد و عملکرد آن بر روی سطح آب (فشار اتمسفری)، مطابق فشار ناشی از عمق آب (فشار هیدرواستاتیکی) است.

ABSOLUTE PRESSURE	GAUGE PRESSURE	DEPTH of SEAWATER
1 ATA	0 ATG	Surface
2 ATA	1 ATG	10 metres (33ft)
3 ATA	2 ATG	20 metres (66ft)
4 ATA	3 ATG	30 metres (99ft)

جدول ۲-۲

فشار کل بر روی غواص فشار مطلق نامیده می‌شود. این فشار اغلب بر حسب اتمسفر بیان می‌شود و «جو مطلق» یا "ATA" نامیده می‌شود.



شکل ۵-۲

برای محاسبه فشار مطلق و عملکرد آن روی غواص در عمق معین و در شرایط اتمسفری، عمق بر حسب ۱۰ متر تقسیم می‌شود (از آنجا که هر ۱۰ متر آب دریا، یک اتمسفر فشار) و یک فشار اتمسفری می‌افزاید (فشار اتمسفر بالاتر از آب).

به عنوان مثال، فشار مطلق در ۴۰ متر $\{۴۰ \div ۱۰\} + ۱ = ۵$ ATA است.

به عنوان مثال فشار مطلق در ۹۹ فوت مساوی با $\frac{۹۹}{۳۳} + ۱ = ۴$ ATA است.

مقیاس فشار **Pressure Majurement**

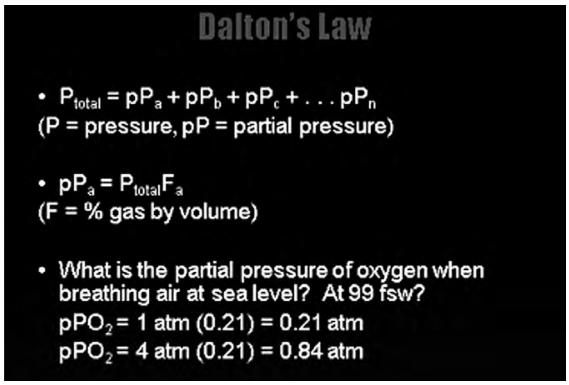
همانطوریکه در بالا ذکر شد، فشار هیدرواستاتیک در غواصی عموماً توسط فشار یا عمق‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. چنین مقیاسی به طور معمول در لیست فشار صفر سطح دریا گذاشته می‌شود و به این علت فشار جو (۱ ATA) نادیده گرفته می‌شود.

فشارسنج با معیار ۱۰ متر عمق آب دریا ثبت می‌شود در نتیجه با مقیاس جو (۱ ATG) یا واحد معادل آن یکی خواهد شد.

فشارسنج با افزودن یک فشار اتمسفر به فشار مطلق تبدیل می‌شود.

فشار جزئی Partial pressure

در یک مخلوطی از گازها، کل فشار ارائه شده توسط هر یک از گازها، فشار جزئی آن گاز نامیده می‌شود (قسمتی از خود فشار). فشار جزئی ارائه شده توسط هر گاز متناسب با درصد مخلوط خود اوست. هر گاز به همان نسبت به فشار کل مخلوط کمک می‌کند و به همان اندازه در ترکیب مخلوط سهم دارد.

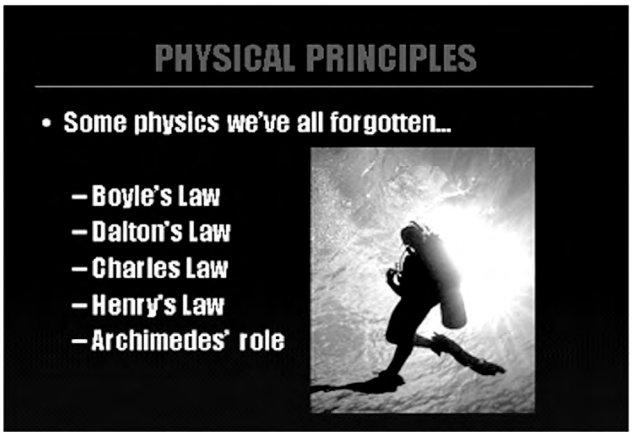


شکل ۶-۲

به عنوان مثال، هوا در یک ATA شامل ۲۱درصد اکسیژن می‌باشد از این رو فشار جزئی اکسیژن ATA ۰/۲۱ است و هوا در ATA ۱ شامل ۷۸درصد نیتروژن می‌باشد از این رو فشار جزئی نیتروژن ATA ۰/۷۸ است.

قوانین گاز: Gas Roles

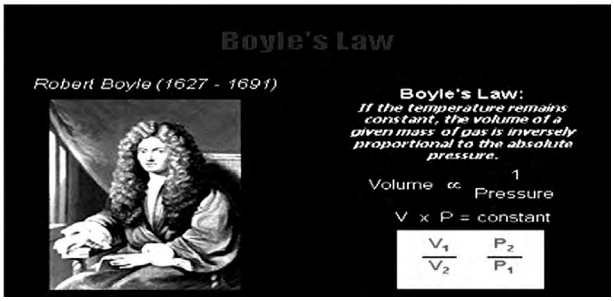
حرکت گازها در طبیعت و در غواصی با توجه به قوانین مختلف است. آگاهی از این قوانین برای غواصی مهم است زیرا آنها مدت زمان تغذیه هوا و نوع گاز را تحت تأثیر قرار می‌دهند که برخی از اندام‌ها نظیر گوش‌ها، سینوس‌ها و ریه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند آنها در غواصی باعث بیماری‌های مختلفی می‌شوند.



شکل ۷-۲

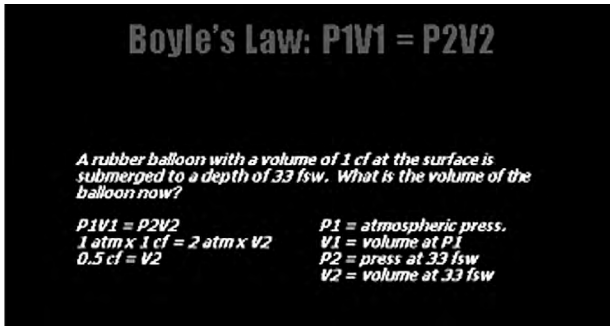
قانون بویل (Boyle): Boyle laws

این قانون رابطه بین فشار و حجم را تعریف می‌کند. این قانون بیان می‌کند که حجم گاز به دست آمده با فشار مطلق نسبت عکس دارد و بالعکس (در صورتیکه درجه حرارت ثابت باقی بماند).



شکل ۸-۲

به سادگی شرح داده می‌شود که برای یک مقدار معینی از گاز اگر فشار افزایش یابد به همان نسبت حجم کاهش می‌یابد و بالعکس. این بدان معنی است که اگر فشار دو برابر شود حجم نصف می‌شود و بالعکس.
طبق قانون ریاضی:

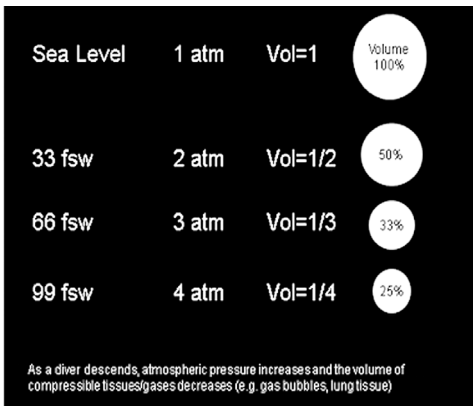


شکل ۹-۲

چنین بر می‌آید که برای مقدار مشخصی از گاز، حجم در فشار ضرب می‌شود و همواره مقدار ثابتی دارد. برای مثال: $P \times V$ مقداری ثابت است.
بنابراین اگر نمونه‌ای از گاز، حجم اصلی V_1 و فشار اصلی را دارا باشد، فشار یا حجم تغییر می‌یابد، حجم جدید V_2 و فشار جدید P_2 خواهد شد.

$$P_1 \times V1 = P_2 \times V2$$

این قانون به راحتی می‌تواند توسط یک پیستون و سیلندر مثل پمپ دوچرخه نشان داده شود. اگر پیستون به نیمه راه سیلندر فشار داده شود و از فرار گاز جلوگیری شود، فشار در سیلندر به اندازه دو برابر خواهد شد. کمپرسورها به این روش کار می‌کنند که ۲۰۰۰ لیتر هوا یا لیترهای بیشتری از هوا را به سیلندر Scuba می‌فشارند –



شکل ۱۰-۲

به عنوان مثال:

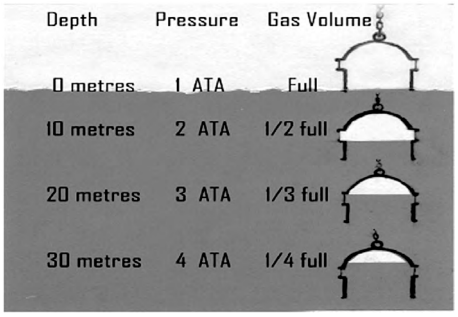
اگر یک کیسه ۶ لیتری در سطح (۱ ATA) پر شود و به عمق ۲۰ متری (۳ ATA) برده شود، حجم با ضریب ۳ لیتر به ۲ لیتر کاهش می‌یابد.

$$P_1 \times V1 = P_2 \times V2$$

۱×۶=۳×۲

حجم گاز	فشار(ATA)	عمق (متر)
کامل	۱	۰
کامل ۱/۲	۲	۱۰
کامل ۱/۳	۳	۲۰
کامل ۱/۴	۴	۳۰

جدول ۳-۲



شکل ۱۱-۲

در همین راستا اگر یک غواص نفس خود را در سطح نگه دارد و به عمق ۲۰ متری (۳ ATA) نزول کند، حجم هوا در ریه‌هایش ممکن است از ۶ لیتر به ۲ لیتر کاهش یابد.
قفسه سینه و ریه‌ها با انقباض، بهتر از انبساط کنار می‌آیند.
مشکلات صعود: به طور متوسط ریه‌های غواص مرد ممکن است در حدود ۶ لیتر گاز را در خود جای دهد. اگر یک غواص نفس کامل را در عمق ۲۰ متر (۳ ATA) در غواصی Scuba خود نگه دارد و به سطح باز گردد بدون اینکه عمل دم را انجام دهد (۱ ATA)، حجم گاز در ریه‌هایش از ۶ لیتر ظرفیت کل ریه به ۱۸ لیتر افزایش می‌یابد .

۱۸ = (لیتر ۳×۶)

با این روش می‌توان آن را به آسانی محاسبه نمود:

$$P_1 \times V1 = P_2 \times V2$$

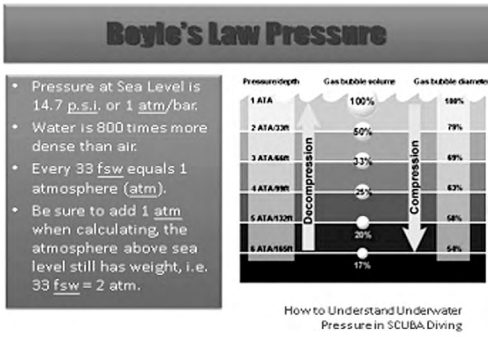
P_1=۳ ATA V_1=۶ لیتر P_2=۱ ATA

V_2= ?

$$V2 = P_1 \times V1 / P_2$$

V۲=۱۸ لیتر

ریه‌هایی که ۱۸ لیتر منبسط شده‌اند، بنابراین فراتر از حجم ریه هاست و باعث پارگی یا ترکیدن ریه می شود. (Barotrauma ریوی حاصل از صعود)
قانون Boyle این است که بزرگترین تغییرات حجم در نزدیک سطح رخ می دهد. این بدان معنی است که بزرگترین خطر Barotraumas نزدیک سطح است.



شکل ۱۲-۲

در این جدول نمودار تغییرات را در حجم گاز نشان می‌دهد که با تغییر فشار در عمق‌های مختلف به وجود آمده است. توجه کنید که حداکثر تغییر حجم نزدیک سطح است.
برای مثال اگر غواص حداکثر ۴ لیتر هوا را در ریه‌های خود، در عمق ۴۰ متری داشته باشد (۵ ATA) و به ارتفاع ۱۰ متری بدون باز دم صعود کند (به ۴ ATA)، حجم در ریه‌ها به ۵ لیتر افزایش می‌یابد.

$$P_1 \times V1 = P_2 \times V2$$

$$۵ \times ۴ = ۴ \times V2$$

$$V2 = ۵ \text{ لیتر}$$

بعضی از مردم احتمالاً می‌توانند با این انبساط، ریه خود را وفق دهند بدون اینکه آسیبی به ریه‌هایشان برسد اگر همان غواص در عمق ۱۰ متری شروع به غواصی کند (۲ ATA) و سپس به ارتفاع ۱۰ متری سطح صعود کند (فاصله صعود مشابه قبل باشد)، بدون بیرون دادن هوا (دم) فشار از ۲ ATA به ۱ ATA تغییر خواهد یافت.

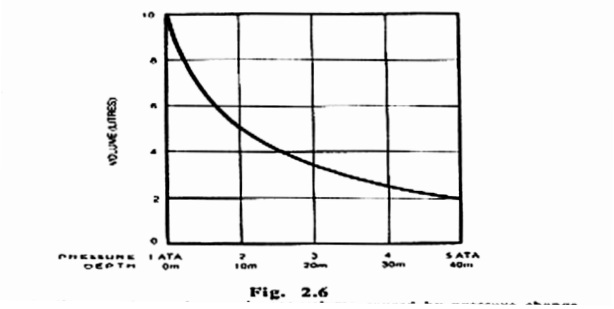


Fig. 2.6

This diagram shows changes in gas volume caused by pressure change at various depths. Note that maximal volume change is near the surface

شکل ۱۳-۲

هوا در ریه‌ها از ۴ لیتر به ۸ لیتر گسترش می‌یابد. این امر باعث پارگی ریه غواص می‌شود. اگرچه غواص همان فاصله‌های صعود، تغییر حجم را نشان می‌دهد از این رو خطر (در پاسخ به قانون Boyle) در نزدیک سطح بسیار زیادتر است.

بسیاری از غواصان از این امر آگاه نیستند و باورهای غلطی دارند که اگر آنها غواصی خود را در عمق کم انجام دهند آنها خطر Barotrauma را به حداقل خواهند رساند.

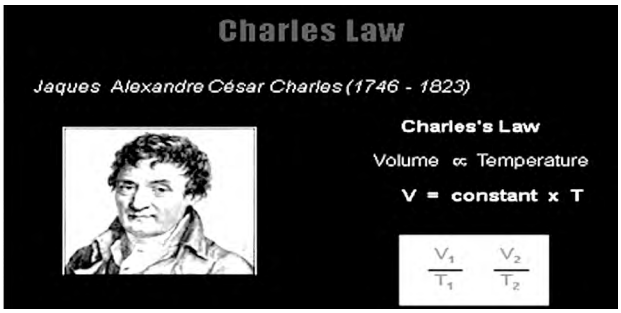
Bouyancy Compensators به همین نحو با تغییرات عمق در پاسخ به قانون Boyle تحت تأثیر قرار می‌گیرند به علاوه (لباس‌های غواصی مرطوب)[1] خاصیت شناوری و ویژگی عایق‌بندی خود را در عمق از دست می‌دهند.

اثر دما یا قانون کارل TEMPERATURE EFFECT (CHARLIE' S LAW)

اکثر غواصان میدانند که کمپرسور تراکم هوا در حین کار و فشردن گاز گرم میشود. در قانون چارلز کارل، اگر فشار ثابت باشد، حجم در اثر بالا رفتن دما، افزایش می‌یابد رابطه ریاضی به شکل زیر است:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \text{etc} \qquad \text{یا} \qquad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

۱ Wet Suits



شکل ۱۴-۲

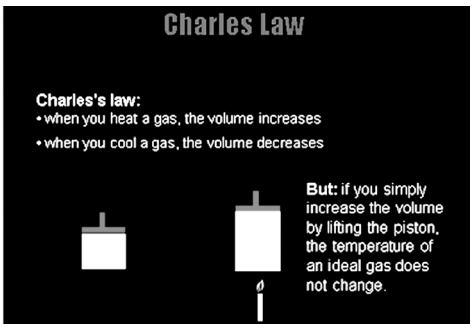
طبق این قانون جرم‌حجمی یک گاز با دمای مطلق آن (دمای محیط بر اساس درجه سیلسیوس بعلاوه عدد ۲۷۳) رابطه عکس دارد. دمای مطلق عبارت است از:

$$T_c^{o} = T_k^{o} + ۲۷۳$$

این قانون نشان می‌دهد که اگر فشار ثابت بماند، حجم انبوه گاز مستقیماً با دمای مطلق متفاوت است (دمای مطلق با افزایش ۲۷۳ درجه سانتیگراد بدست می‌آید). به عبارت دیگر اگر گاز در فشار ثابت گرم شود آن گاز منبسط می‌شود و اگر گاز در فشار ثابت

شکل ۱۵-۲

قوانین چارلز و بویل را می‌توان به قانون عمومی گاز ترکیب تبدیل کرد $\frac{PV}{T}$ ثابت است، بر اساس قوانین که برای مقدار مشخصی از گاز، فشار در حجم ضرب می‌شود و تقسیم بر درجه حرارت می‌شود و همان مقدار به‌دست می‌آید پس اگر یکی از این عوامل تغییر یابد آن بر روی دو عامل دیگر تأثیر می‌گذارد.



شکل ۱۶-۲

معادله جهانی گازها UNIVERSAL GAS EQUATION

در گازهای ایده آل و بی‌اثر قانون جهانی گازها را با رابطه کلی زیر نشان میدهند:

$$\frac{P_1 V_1}{T_2} = \frac{P_2 V_2}{T_1} = \text{ETC}$$

ارائه و تفهیم این فرمول به غواصان از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است زیرا براساس این فرمول توجیه بسیاری از صدمات ناشی از فشار[1] در افزایش عمق[2] و کاهش عمق[3] قابل توجیه‌اند.

قوانین چارلز و بویل با هم ترکیب میشوند که به صورت زیر در می‌آیند:

$$\frac{PV}{T} = \text{ETC}$$

این فرمول نشان میدهد که اگر گاز فشرده شود(P↑)، Tدما افزایش می‌یابد.

قایق‌های بادی غواصان را نباید با حداکثر فشار پر کرد، زیرا امکان انفجار این قایق‌ها در زیر نور آفتاب وجود دارد. در شرایطی که فشار به سرعت کم میشود(P↓) دمای گاز به همان سرعت (T↓) کاهش می‌یابد در زمانیکه کپسولهایSCUBA با فشار بالایی پرشوند و غواص به دلیل تحرک فیزیکی زیاد یا حالت پانیک دچار تنفس‌های شدید و سریع شود، ریگلاتر غواصی یخ میزند و درست کار نمی‌کند در این مواقع غواص باید با حفظ آرامش خود چند دقیقه صبر کند تا ریگلاتر دوباره به کار افتد.

اگر یک نمونه گاز با $\frac{P_1 V_1}{T_1}$ به یکی از این عوامل تغییر کند، مجموعه جدید از مقادیر $\frac{P_2 V_2}{T_2}$ به خارج قسمت همان جواب ضرب خواهد شد.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

شکل ۱۷-۲

به روش دیگر: اگر گاز فشرده شود حجم آن کاهش می‌یابد و آن گرم‌تر می‌شود. اگر گاز گرم شود و حجم آن ثابت باشد فشار افزایش می‌یابد. به همین نحو قایق‌های غواصی قابل باد، اغلب با حداکثر فشار پر می‌شوند و سپس در نور آفتاب رها می‌شوند. در نتیجه درجه حرارت بالا می‌رود، فشار هوای موجود به تدریج افزایش می‌یابد و سپس به طور ناگهانی کاهش می‌یابد – هنگامی که حجم افزایش می‌یابد قایق منفجر شدن است و اگر این امکان وجود داشته

---

۱ BAROTRAUMA

۲ DESCEND

۳ ASCENT

باشد که گاز به سرعت منبسط شود، سرد می‌شود. خنک کردن گاز منبسط شده، هوا را فشرده می‌کند، در نتیجه آن گاز از سیلندر Scuba تنفس می‌شود و می‌تواند به انجماد رگلاتور در طول مدت غواصی در آب سرد منجر شود.
مسئله: اگر درجه حرارت سیلندر Scuba، ۳۷ درجه سانتیگراد باشد بعد از مدتی از کمپرسور قطع می‌شود. فشارسنج آن ۱۹۹ بار خوانده می‌شود ATG بعد از اینکه آن به ۱۷۰ درجه سانتیگراد می‌رسد چه مقدار فشار را نشان می‌دهد؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

در حال حاضر به دلیل اینکه V_1 و V_2 یکسان هستند (حجم سیلندر بدون تغییر می‌ماند) و معادله را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

و این می‌تواند به صورت زیر مرتب شود:

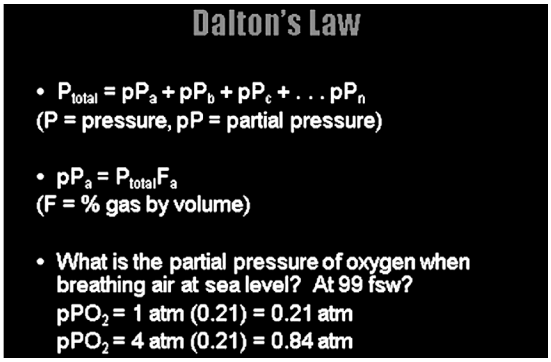
$$\frac{P_1 T_2}{T_1} = P_2$$

جایگزینی ارقام: توجه داشته باشید که فشار سیلندر در ATG یک اتمسفر است تا ATA تشکیل شود به علاوه درجه حرارت باید با افزایش ۲۷۳ درجه به فشار مطلق تبدیل شود.

$$P_2 = \frac{(۲۷۳+۱۷)\times(۱۹۹+۱)}{۳۷۳+۳۷} = ۱۸۷ \quad ATA$$

قانون دالتون DALTON LAW

همراه با مخلوطی از گازها، فشار کل اعمال شده توسط مخلوط به‌دست آمده برابر با و مجموع فشارها است که توسط هریک از گازها نشان داده می‌شود .



شکل ۱۸-۲

در یک مخلوط گازی متشکل از گاز، فشار کل برابر است با مجموع فشار جزئی هریک از گازها در آن مخلوط که رابطه ریاضی آن بصورت زیر است:

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + \ldots\ldots + P_N$$

با افزایش فشار، فشار جزئی هریک از گازهای تنفسی به همان میزان افزایش می‌یابد. در فشار یک اتمسفر (۱ATA)، فشار جزئی اکسیژن معادل ۰/۲۱ است که ۲۱٪ هوا را تشکیل میدهد و فشار جزئی نیتروژن معادل ۰/۷۸ اتمسفر است که ۷۸٪ هوا را تشکیل میدهد.

فشار جزئی هر گاز، معادل درصد تشکیل‌دهنده آن گاز در مخلوط است. در غواصی ایجاد ترکیب گازهای تنفسی مناسب، امر حیاتی است که بر اساس عمق و مدت عملیات توسط پزشک غواص محاسبه میگردد، چرا که تنفس اکسیژن با فشار جزئی بیش از ۱/۸ اتمسفر می‌تواند باعث تشنج شود به عنوان مثال:

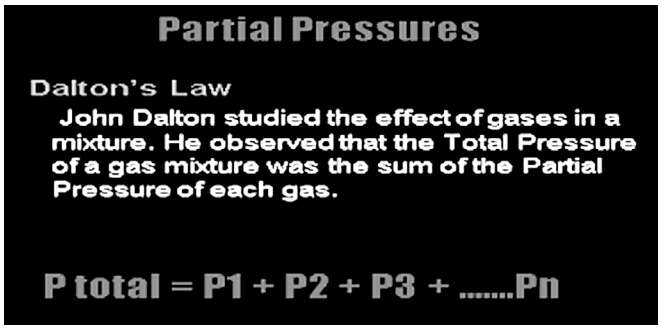
این سئوال مطرح می‌شود که آیا زمانی‌که تنفس بیش از ۱/۸ ATA باشد O_2 اکسیژن آیا آن برای تنفس مخلوط O_2 ۵۰درصد و N_2 ۵۰درصد در عمق ۳۰ متر (۴ ATA) بی‌خطر خواهد بود.

فشار جزئی O_2 = ۵۰درصد × ۴ ATA = ۲ ATA

ترکیب اکسیژن – نیتروژن به طور نهفته در این عمق سمی خواهد شد.

در این فشار جزئی، اکسیژن می تواند ظرف کمتر از ۲۰ دقیقه باعث تشنج شود و در غواصی، تشنج تقریباً معادل مرگ قطعی است.

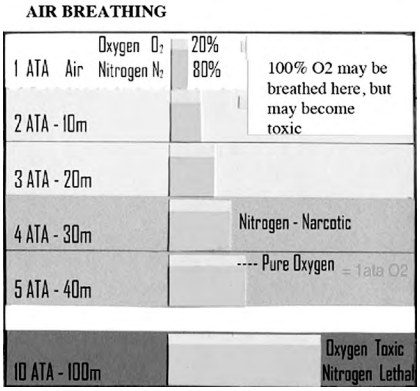
ترکیب گازهای تنفسی غواص بر اساس تجهیزات، عمق، دمای محیط، مدت غواصی محاسبه می‌شود و تنها پزشک غواص می تواند پس از پر شدن کپسول دوباره آن را چک کند.



شکل ۱۹-۲

همانطور که فشار افزایش می‌یابد (با فرود در زیر آب) فشار جزئی هریک از گازهای سازنده افزایش می‌یابد.

به عنوان مثال اگر هوا به طور تقریبی حاوی ۲۱درصد اکسیژن (O_2) و ۷۸٪ نیتروژن (N_2) باشد آنگاه الگوی هوا در فشار به‌دست آمده O_2 خواهد بود که ۲۱٪کل فشار را تشکیل می‌دهد و N_2 در حدود ۷۸٪ کل فشار را داراست.

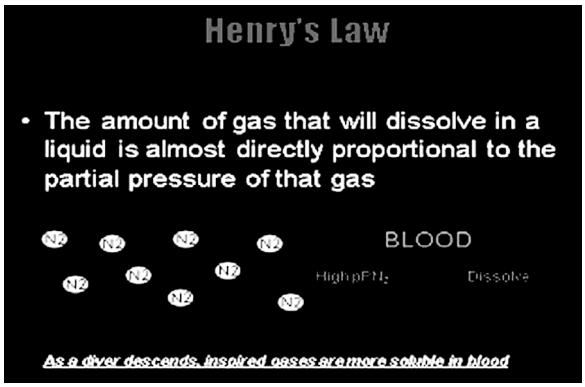


شکل ۲۰-۲

در فشار جوی، فشار جزئی O_2 در هوا ۲۱ به ۱۰۰ از ۱ ATA است که مساوی با ۰/۲۱ ATA می‌باشد در حالی‌که فشار جزئی N_2 برابر ۷۸ به ۱۰۰ از ATA است و مساوی با ۰/۷۸ ATA می‌باشد.
برای محاسبه فشار جزئی یک گاز، درصدی از گاز توسط فشار مطلق ضرب می‌شود. این قانون زمانی حائز اهمیت است که به اثر سمی گازها در عمق توجه شود یا از O_2 برای اهداف درمانی استفاده شود.

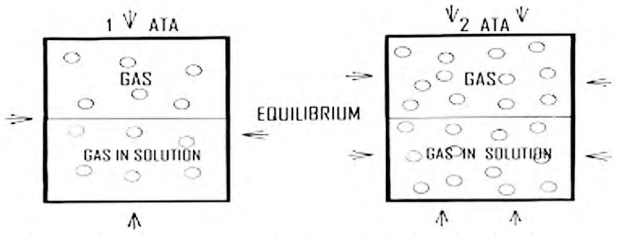
قانون هنری Henry Law

این قانون توصیف انحلال گاز در مایع است و مقدار گاز حل شده در مایع را بر حسب درجه حرارت معین نشان می‌دهد که با فشار جزئی گاز در تماس با مایع متناسب است.



شکل ۲۱-۲

این بدان معنی است که اگر فشار گاز در یک مایع افزایش یابد بنابراین مقدار بیشتری از گاز در مایع حل خواهد شد.



This diagram shows how more gas molecules are disolved in a liguid ax the prexaure of the gas expored to the liquid is increased from۱to۲ATA

شکل ۲۲-۲

این نمودار نشان می‌دهد که چگونه با افزایش فشار گاز مقدار بیشتر مولکول‌های گاز در مایع حل می‌شود و به صورت فشار گاز در مایع پدیدار می‌شوند و از ۱ به ۲ ATA افزایش می‌یابند. هر زمان که یک نوشیدنی گازدار باز شود نمونه‌ای از این قانون دیده می‌شود. در طی تولید این نوشیدنی‌ها، کربن‌دی‌اکسید در مایع تحت فشار حل می‌شود و درب بطری فشار را حفظ می‌کند. هنگامی‌که بطری باز شود و فشار آزاد شود گاز زیادی از محلول به شکل حباب‌هایی آزاد می‌شود.

در سطح دریا (۱ ATA) بدن انسان به طور تقریبی یک لیتر از N_2 را در بافت‌ها حل می‌کند. هرگاه غواص هوای فشرده شده را در عمق تنفس کند بیشتر N_2 در بدن حل می‌شود که باعث خواب نیتروژنی می شود.. این حالت بی‌حسی و خواب آلودگی ناشی از نیتروژن است. تحت شرایط خاص، زمانیکه غواص به سطح باز گردد، N_2 می‌تواند به شکل حباب‌هایی از محلول خون و مایعات بدن خارج شود. این حباب‌ها باعث آسیب بافت می‌شود و پایه و اساس بیماری تقلیل فشار غواصان می‌باشد (bends)

شکل ۲۳-۲

این قانون میزان انحلال یک گاز در یک مایع را بر اساس فشار جزئی آن گاز مشخص می‌سازد در صورتی که فشار جزئی یک گاز افزایش یابد، میزان انحلال گاز در مایع افزایش می‌یابد. در تمام بدن انسان یک لیتر گاز نیتروژن بصورت حل شده وجود دارد که این مقدار در سطح دریا (معادل یک اتمسفر) بر اساس فشار جزئی نیتروژن ۰/۷۸ اتمسفر است.

با افزایش عمق، فشار جزئی نیتروژن افزایش‌یافته و براساس قانون هنری، میزان بیشتری در خون و بافتها حل

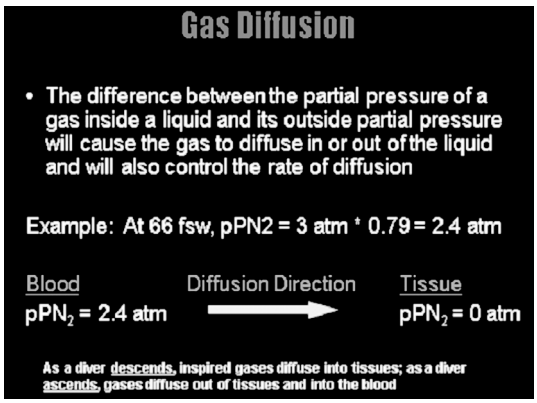
میگردد. این امر باعث نوعی مستی خواب‌آلودگی میگردد که بنامNitrogen Narcosis شناخته می‌شود.
برعکس، در زمان بازگشت به سطح، اگر قوانین صعود و ایست های ایمنی[۱] رعایت نشود گاز نیتروژن حل‌شده در بافتها بصورت حبابهای نیتروژن (N۲ Bable) در می‌آیند و می‌توانند علائم سندرم کاهش فشار یا DCS[2] را ایجاد کند و روند توزیع گاز نیتروژن در بدن را Diffusion گازی می‌گویند.
انتشار گاز نیتروژن در تمام بافتهای بدن از طریق عبور از غشاهای ریوی و سلولی صورت می‌گیرد و باعث افزایش نیتروژن محلول در خون، پلاسما، آب میان‌بافتی و حتی سطح سلول میگردد و تنها راه خروج این گاز، دفع ریوی آن است که مستلزم زمان و کاهش تدریجی فشار محیطی است، این موضوع باید جدی گرفته شود.
تمام قوانین(Ascend) صعود بر اساس عمق، دمای محیط، مدت غواصی و نوع گاز تنفسی تعداد و مدت(ایست های ایمنی)[۳] را مشخص می کند. این امر امروزه بر اساس دستور العمل کامپیوتر غواصی[۴] بصورت اتوماتیک به غواص دیکته میشود و گزارش سرعت صعود غواص را نیز در حافظه کامپیوتر ثبت میکند در صورتی که غواص به هشدارهای کامپیوتر مچی خود توجه نکند و با سرعت بیش از حدمجاز صعود کند، از لحاظ قانونی تنها خودش مقصر است و حتی بیمه غواصی نیز به او تعلق نخواهد گرفت. اصولاً در صنعت غواصی، دانستن اصول فیزیک و فیزیولوژی بدن درفشار بالا یک اصل ضروری است کلیه غواصان باید دوره‌های نظری فوق را بگذرانند و کتباً در Log Book آنها ذکر شود.
در هر حادثه، سوپروایزر غواص و ناظرینHSE موظف به بررسی مسئله صعود و گزارش صدمات وارده هستند در هرحال، این موضوع از طریق هیأت مدیره غواصیDCB[5] بررسی و در صورت نیاز تصمیم نهایی گرفته میشود.
غواصانی که رفتار پرخطر دارند، نه تنها جان خود را بلکه جان تک تک افراد تیم غواصی را به خطر می‌اندازند و این افراد با گزارش سوپروایزر غواصی می‌توانند برای مدتی و یا همیشه از غواصی منع شوند.

انتشار گازها Gas Diffusion

روند توزیع گاز انتشار نامیده می‌شود. این عمل سبب تسریع تصادفی جنبش مولکول‌های گاز به تمام نقاط بدن است. مولکول‌های گاز که تنها گروه‌های کوچک یا منفرد اتم‌ها می‌باشند، به راحتی می‌توانند از طریق غشاهای باریک مویرگ‌های خونی یا دیواره‌های سلولی انتشار یابند. این فرآیند اجازه می‌دهد گازهای O_2 و سایر گازها از ریه‌ها به خون و بافت‌ها عبور کنند و سپس از بدن خارج شوند.

---

۱ Safety Stop
۲ Decompression Sickness or Syndrome
۳ Safety Stop
٤ Diving Computer
٥ (Diving Committee Board)



شکل ۲۴-۲

گازهای مهم در غواصی GASES OF IMPORTANT IN DIVERS

هوا Air

هوای تنفسی، مخلوطی از ۲۱٪ اکسیژن،۸۷درصد نیتروژن، ۴٪ (هلیوم) دی اکسید کربن و مقادیر بسیار ناچیزی از سایر گازهای بی‌اثر مانند (نئونNE، آرگونAR، زنونXE، هیدروژنH_2 و هلیوم He) می‌باشد که در شرایط غیر استاندارد، کپسولهای هوایSCUBA می‌توانند دارای گردو غبار، نفت یا هیدروکربن‌ها، بخار آب و منواکسید کربن (CO) باشند در خون این گازها با افزایش فشار در عمق به راحتی حل میشوند و بعضاً به راحتی از طریق ریه دفع نمی‌شوند لذا کمپرسورهای پرکننده کپسولهایSCUBA باید دارای استانداردهای خاص باشند (در بخش استانداردهای تجهیزاتی به آن اشاره خواهد شد).

عدم رعایت این استانداردها می‌تواند خطرات جانی زیادی برای غواص با تیم غواصی ایجاد کند و بررسی این موارد به عهده سوپروایزر غواصی و ناظرین HSE است.

گازهای نادر مانند نئون (Ne)، آرگون (Ar) و زنون (Xe) و هیدروژن (H_2)، تنها به مقدار بسیار کمی وجود دارد.

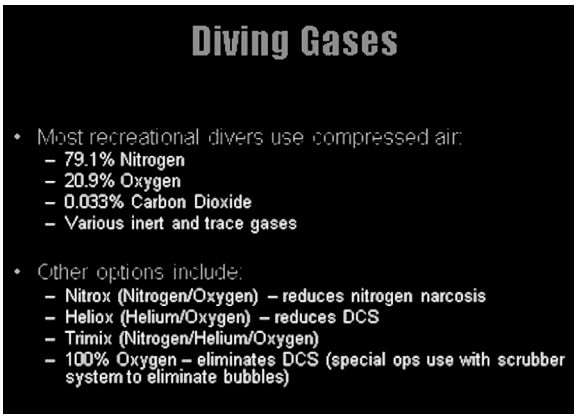
ترکیب تقریبی هوا به صورت زیر می‌باشد:

۲۱درصد - (O_2) اکسیژن

۷۸درصد (N_2) نیتروژن

۰/۰۴درصد (CO_2) دی اکسید کربن

کمتر از ۱درصد > سایر گازها



شکل ۲۵-۲

برخی از کمپرسورهای معیوب هوا در مخازن Scuba پر می کنند و برخی از مواد افزودنی آزاد با هوای فشرده مخلوط می‌شوند مانند: گرد و غبار، روغن، هیدروکربن‌ها، زنگ، بخارآب و منوکسیدکربن (CO).

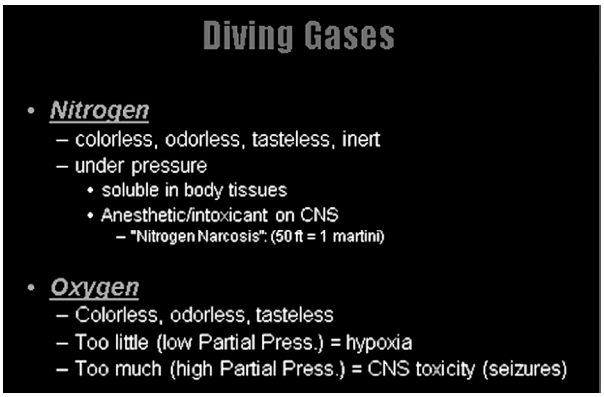
اکسیژن **OXYGEN-O_2**

این گاز بی رنگ، بی بو، بی مزه که حدود ۲۱٪ هوای تنفسی را تشکیل میدهد دارای فشار جزئی معادل ۰/۲۱ اتمسفر(ATA) در سطح دریاست، اندکی بیشتر از این مسمومیت و اندکی کمتر از این هیپوکسی ایجاد میکند که هر دو حالت کاملاًخطرنا هستند.

مقدار بیشتری از این گاز سبب سمی شدن O_2 می‌شود و مقدار کمتر این گاز زندگی را به خطر می اندازد. به این خاطر، بیشتر مخلوط گاز استنشاق شده توسط غواصان در اعماق حاوی یک گاز بی‌اثر می‌باشد که معمولاً N_2 یا هلیوم است و با اکسیژن ترکیب می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که ترکیب O_2 در فشار جزئی نزدیک به (ATA ۰/۴۰ – ۰/۶) حفظ می‌شود. ولی فشار مورد کاربرد ۲ اتمسفر ATA است.

اصولاً در طب غواصی مخلوط گازها را طوری انتخاب میکنیم که از گازهای بی اثر نیتروژن (N_2)و هلیوم (HE) با اکسیژن به‌گونه ترکیب شوند که در عمق مورد نظر فشار جزئی اکسیژن حدود ATM ۰/۲ بماند اگرچه محدوده (۰/۴۰ – ۰/۱۶ اتمسفر) نیز برای ترکیب اکسیژن کاملاً مجاز است.

اکسیژن یک گاز قابل اشتعال و انفجار است، لذا غواصان همیشه باید مراقب کپسولهای اکسیژن با فشار بالا باشند اگرچه یکی از عوارض بسیار نادر اتاقهای فشار هم اشتعال است که باید با رعایت استانداردهای ملزوم از خطر آن دوری کرد.

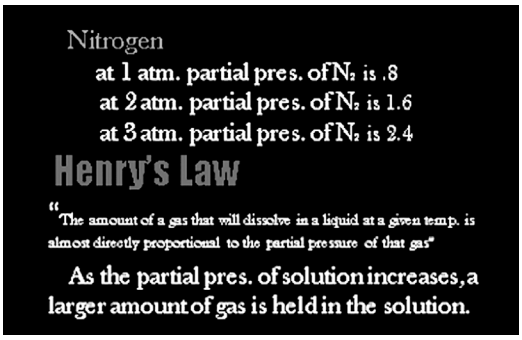


شکل ۲۶-۲

O_2 شدیداً به احتراق کمک می‌کند و معمولاً باعث می‌شود که مواد اصلی غیرقابل اشتعال به صورت درخشان بسوزند (نظیر اشغال کننده‌های اتاق Recompression غواصان باید از ویژگی‌های بالقوه گاز قابل انفجار و قابل اشتعال اکسیژن آگاه باشند به طوریکه آنها ممکن است در کمک‌های اولیه از آن استفاده کنند.

نیتروژن NITROGEN-N_2

این گاز جزء اصلی تشکیل دهنده هواست همچنین بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه است. N_2 به خوبی در مایعات بدن و بافت‌ها حل می‌شود .



شکل ۲۷-۲

این گاز که حدود ۷۹درصد هوای تنفسی را تشکیل میدهد و دارای فشار جزئی معادل ۰/۷۹ اتمسفر در سطح دریاست. این گاز توانایی انحلال در خون، مایع میان بافتی، سلولها و اصولاً تمام بافتهای بدن را دارد.

این گاز عمده‌ترین گاز بی‌اثر[۱] هواست که هیچ اثری بر متابولیسم بدن در فشار یک اتمسفر ندارد ولی بر اساس قانون هنری، با افزایش عمق، این گاز از فاز گازی به فاز مایع انحلال می یابد و سریعترین اثر آن بر سیستم عصبی مرکزی[۲] است که باعث به‌وجود امدن خواب آلودگی و علائم شبیه مستی با الکل اتیلیک می‌شود که در این علم به‌نام مستی نیتروژن[۳] شناخته میشود. این حالت در عملیات دقیق نظامی (مثلاً خنثی‌سازی مین‌ها یا استفاده مواد منفجره برای تخریب) می‌تواند کاملاً خطرناک باشد ضمن اینکه این مستی می‌تواند چنان شدید گردد که جهت‌یابی، عمق سنجی و رعایت استانداردهای صعود مثلاً رعایت ایستهای ایمنی Safety Stops دچار اختلال گردند و قطعاً غواص مستعد هرگونه خطر بخصوص بیماری تقلیل فشار (DCS)خواهد بود.

بر اساس قانون پاسکال[۴] فشار اعمال شده در هر نقطه یک مایع بطور یکنواخت در تمام جهات انتقال می‌یابد در مورد ارگانهایی که فضای خالی ندارند، فشار آنجا با فشار محیط برابر خواهد بود ولی در ارگانهایی که توخالی هستند و اصطلاحاً بنام Gas – Filled Comportments معروفند (اجزاء قابل پرشدن با گاز) که مهمترین آنها شش‌ها "Lung" گوش میانی "Midle Ear"سیستم گوارش (GIT)می‌باشند.

با افزایش فشار محیطی طبق قانون هنری فشار جزئی نیتروژن در این ارگانها بالا میرود و از فاز گاز به فاز مایع وارد میشوند، این ارگانها می‌توانند در هنگام صعود، گاز نیتروژن را بطور ناگهانی وارد خون کنند که نتیجه آن تشکیل حبابهای نیتروژن[۵] است این حبابها بر اساس اندازه و مکانشان می‌توانند ایجاد علائم

---

۱ Inert gas

۲ CNS(CeneralNeruous System)

۳ Nitrogen noreosis

٤ Paskal

۵ N_2-Babble

آمبولی گازی حاد "Acute Gas Emboli" نمایند در شرایطی که این حبابها وارد سرخرگها شوند (مثل افرادی که دارای شنت راست به چپ[۱] هستند یک سکته حاد مغزی یا قلبی نیز قابل تصور است ولی اغلب موارد ورود گاز نیتروژن به سیستم سیاهرگی است که می تواند علائم سندرم تقلیل فشار (DCS) را کاملا توجیه و ایجاد کند.
خداوند گاز نیتروژن را برای جلوگیری از انفجار و آتش سوزی O_2 اکسیژن در هوا قرار داده است!!!
در مواردی بر اساس عمق غواصی و دمای محیط و مدت زمان مورد نیاز برای انجام پروژه، پزشک غواص مخلوطی از گازهای اکسیژن و نیتروژن با نسبتهای متفاوت را پیشنهاد میکند که اصطلاحاً بهنام مخلوطNitrox یاHelox (اکسیژن، هلیوم) معروفند این مبحث یک امر تخصصی است و بر اساس این قانون، سوپروایزر غواص موظف است طبق دستور کتبی پزشک غواص، مخازن را پر کند (با دادن اطلاعات صحیح به پزشک).
روشهای غواصی گازی Mixed-Gas با هدف کاهش خطرDCS و نارکوسیس و افزایش مدت غواصی طراحی شده‌اند که در فصلهای بعد به تفصیل توضیح داده میشوند.

گاز دی اکسید کربن "CARBON-DIOXIDE CO_2"

این گاز همچنین بی‌رنگ و بی‌بو است و گفته می‌شود که بی‌مزه است. با وجود این، اگر یک غواص مقداری از گاز CO_2 را تنفس کند (البته از طریق جلیقه‌ای که خاصیت شناوری دارد و از کارتریج CO_2 پر شده است) غواص تشخیص می‌دهد که طعم این گاز به علت تشکیل اسیدکربنیک در آب، تند و زننده است.
CO_2 یک محصول جانبی از متابولیسم سلولی است و ما به طور تقریبی ۵درصد گاز CO_2 را در بازدم (Expiration) خارج می‌سازیم. اگر یک غواص مقدار از گاز خارج شده‌اش را با استفاده از تجهیزات تنفسی معیوب دوباره تنفس کند یا لوله تنفسی بیش از حد طولانی باشد گاز CO_2 در بدن تجمع خواهد یافت و به مسمومیت منجر می‌شود. در فصلهای بعد با جزئیات بحث شده است.
در صورتی که غواص به دلیل اختلال عملکرد رگلاتور[۲] گازهای بازدمی خود را تنفس کند یا دارایSnorkel طولانی تا سطح باشد امکان تجمع گاز در خون، بافتها و سلولها پیش می‌آید که در طب غواصی بنام اسیدوز تنفسی[۳] شناخته میشود این مبحث مفصلاً در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد.

---

۱ (Right to left shunt)
۲ دستگاه تنظیم فشار دهانی
۳ "Respiration Acidosis"

Fig. 2.12
شکل ۲۸-۲

منواکسید کربن CO **CARBON MONOXIDE**

این گاز بی‌بو، بی‌مزه و بی‌رنگ است قدرت واکنش آن به هموگلوبینHBو میوگلوبینMB بدن ۲۰۰ برابر اکسیژن است و با ترکیب آن و تشکیلHB-CO نقل و انتقالO_2 وCO_2 به شدت کم می شود در هوای تنفسی مقادیر بسیار ناچیزی ازCO وجود دارد مگر در کلان‌شهرها، ولی اگر غواص کپسولهایش از هوای آلوده پرشده باشد یا در غواصی تغذیه هوا از سطح، آلودگیCO در ماشین آلات وجود داشته باشد، غواص به سرعت دچار خواب آلودگی و مرگ خاموش در زیر آب می‌شود.

این گاز نمی‌تواند توسط غواص تشخیص داده شود و مقدار بسیار کم آن می‌تواند باعث از دست دادن هوشیاری یا مرگ غواص شود.

معمولاً به صورت محصول احتراق ناقص ترکیبات حاوی کربن تولید می‌شود و این گاز جزء اصلی احتراق داخلی اگزوز موتور و دود سیگار است.

اگر هوا در سیلندرهای Scuba یا توسط تغذیه از سطح Surface Supply به غواصان عرضه شود هوا با گاز مونوکسیدکربن آلوده می‌شود و ممکن است نتایج مرگباری را به همراه داشته باشد.

هلیوم **"HELIUM-HE"**

این گاز بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه و بسیار سبک و گران قیمت است. این گاز از منابع زیرزمینی گاز طبیعی موجود در شمال آمریکا و جاهای دیگر بدست می‌آید.

این گاز برای رقیق کردن O_2 در مخلوط گاز تنفسی و در عمق زیاد استفاده می‌شود زیرا کمتر سبب بی‌حالی و خواب (Narcosis) می‌شود (به عنوان مثال، Heliox ممکن است O_2 ۱۰درصد + He ۹۰٪ را تشکیل دهد یا شامل هر نسبت دیگری باشد).

با توجه چگالی بسیار کم هلیوم، این گاز به آسانی از طریق سوراخ‌های کوچک لوله‌ها و دریچه‌ها فرار می‌کند و حفظ کردن آن دشوار است. همچنین یک هادی بسیار مؤثر گرما می‌باشد وباعث مشکلات جدی با (پایین آمدن

برگشت پذیر درجه حرارت)[۱] می‌شود.
چگالی پایین هلیوم فرآیند طبیعی تولید گشتاری غواص را تغییر می‌دهد زمانی‌که غواص این گاز را تنفس کند گفتار او شبیه اردک میشود که اصطلاحاً بنام صدای دائل داک "Donald Duck" می‌شود.

هیدروژن "HYDROGEN-H_2"

این گاز بسیار سبک وزن است که می‌تواند جایگزین N_2 شود تا بی‌حالی و بی‌حسی را در عمق کاهش دهد. متأسفانه این گاز می‌تواند به طور انفجاری با O_2 ترکیب شود گاهی اوقات این گاز با درصد بسیار پایین O_2، در عمق زیاد توسط غواصان حرفه‌ای استفاده می‌شود. این گاز با هلیوم مشکلات بسیار زیادی را ایجاد می‌کند.

گازهای بی اثر "INERT GAS"

گازهایی هستند که در متابولیسم بدن انسان بی‌اثرند لذا این گازها در غواصان تفریحی هیچ ارزشی ندارند. این گازها جمعاً کمتر از ۱درصد هوای تنفسی را تشکیل می دهند و شامل نئون[۲]، آرگون[۳]، رادون[۴] و زنون[۵] هستند.
نئون Ne آرگون Ar
رادون Rn زنون Xe
اینها بیشتر گازهای بی‌اثر بیولوژیکی ای هستند که تنها به مقدار بسیار کم در جو وجود دارند. این گازها برای غواصانی که تفریحی کار می‌کنند اهمیتی ندارند.

گازهای نفت "OIL GAS"

منشاء این گازها که اغلب هیدروکربنهای طویل یا متوسط زنجیره ای هستند، معمولاً از روغن‌کاری پیستونهای کمپرسورهای متراکم کننده هوا یا تغذیه از سطح نشأت میگرند مقدار مجاز این هیدروکربنها و تأثیرات آنها را در فصلهای بعد شرح میدهیم.
بخارات نفتی و هیدروکربن‌ها، به علت نیاز به روغن‌کاری در کمپرسورها تولید می‌شوند و ممکن است منبع هوای آلوده کنند. فصل ۲۴ را مشاهده کنید

شناوری Bouyancy

این نکته حائز اهمیت است که غواصان به درک عوامل مؤثر شناوری بپردازند. این عوامل عبارت اند از:

---

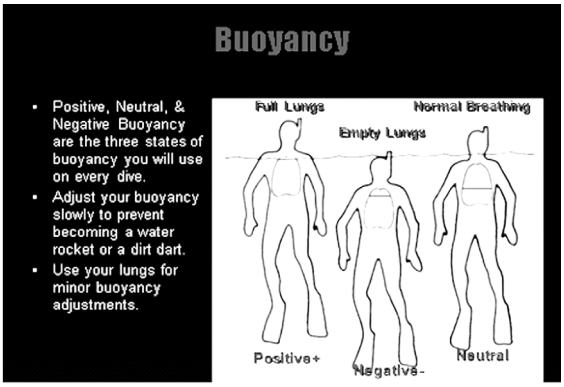
۱ Hypothermia
۲ NE
۳ AR
٤ RN
٥ XN

چگالی Density

چگالی به عنوان جرم در واحد حجم تعریف شده است (چگالی = جرم تقسیم بر حجم)
برای اهداف ما جرم می‌تواند با همان وزن در نظر گرفته شود بنابراین چگالی آن معادل وزن در واحد حجم است.
در صورتیکه ماده حجم یکسان و وزن بیشتری داشته باشد ماده چگال تشکیل می‌شود.
سعی کنید یک سطل آب و سپس یک سطل سرب را بلند کنید تا این مطلب را به خوبی دریابید.

وزن مخصوص Specific Gravity (S.G)

وزن مخصوص (S.G) یک ماده، چگالی یک ماده یا عبارتست از نسبت وزن در واحد حجم به وزن در واحد کیلوگرم سرب دارای وزن مخصوص ۱۳/۵ است بنابراین ۱۳/۵ برابر چگالیتر از آب است.
به عنوان مثال، یک لیتر از آب یک کیلوگرم وزن دارد در حالی‌که همان حجم سرب ۱۳/۵ کیلوگرم وزن دارد.
مفهوم وزن خاص مهم است زیرا وزن مخصوص ماده تعیین خواهد کرد که آیا این ماده در آب شناور است یا در آب فرو می‌رود.
مواد با وزن مخصوص بزرگتر از یک (یعنی چگال‌تر از آب) در آب فرو خواهند رفت.
سرب با وزن مخصوص ۱۳/۵ شناور نیست در حالیکه نفت با وزن مخصوص ۰/۸ به راحتی شناور است و لکه نفتی را تولید می‌کند



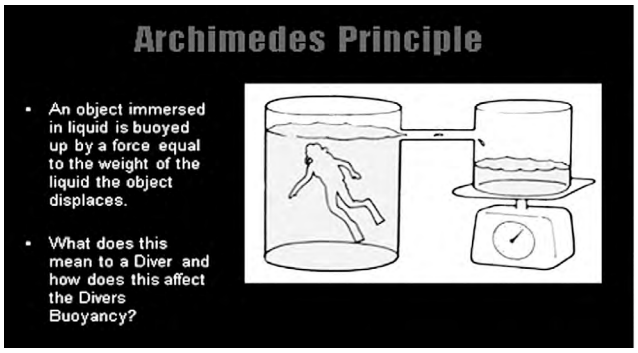
شکل ۲۹-۲

بدن انسان دارای یک وزن مخصوص کمی بیشتر از یک می‌باشد که به محتوای آن بستگی دارد (چربی وزن مخصوص کمتری از یک دارد و استخوان بزرگتر از یک می‌باشند) اما محتوای هوای ریه‌های Bouyancy مناسبی را فراهم می‌سازد تا اجازه دهد اکثر مردم شناور بمانند.

شکل ۳۰-۲

قانون ارشمیدس "ARCHIMEDES PRINCIPLE"

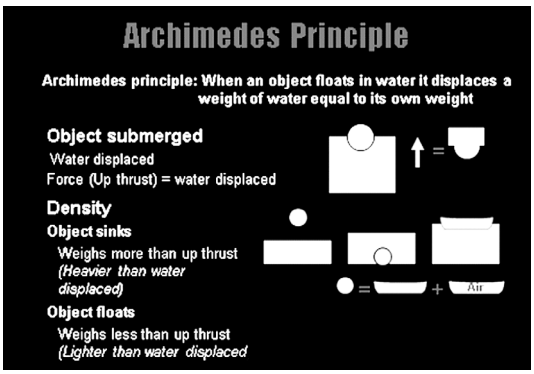
در یونان باستان ارشمیدس (ظاهراً در حالی‌که خود را در حمام می‌شست) کشف کرد که وقتی جسم در سیال غوطه‌ور می‌شود به نظر سبک‌تر است و از دست دادن ظاهر وزن (Bouyancy) با وزن آب برابر است و توسط دستگاه شناوری Bc قابل کنترل است.



شکل ۳۱-۲

بسته به اینکه آیا وزن انتقال مایع بیشتر، برابر یا کمتر از وزن جسم دارد، یک جسم در سیال غوطه‌ور یا شناور خواهد شد و آن معلق باقی می‌ماند یا در آب فرو می‌رود. حتی یک شئ که غرق می‌شود هنوز هم سبک‌تر از جسمی ظاهر می‌شود که خارج از سیال است.

آب دریا چگال‌تر از آب شیرین است به دلیل اینکه دارای نمک است بنابراین وزن بیشتری از آب دریا توسط جسم جایگزین خواهد شد. بنابراین اجسام در آب دریا شناورتر از آب شیرین می‌باشند.



شکل ۳۲-۲

هوای در شکم و دستگاه شناور سازی Bouyancy Compensator و لباس غواصی به Bouyancy کمک می‌کند متأسفانه هوا در این محفظه‌ها درحجم مختلف و در پاسخ به تغییرات فشار با عمق‌های مختلف متفاوت است ایجاد تنظیمات Bouyancy معلق سازی پایدار ضروری می‌باشد. این تنظیمات معمولاً با افزایش هوا یا رهایی آن از موازنه‌کننده‌های Bouyancy غواص انجام می‌شود (جبران خاصیت شناوری غواص)

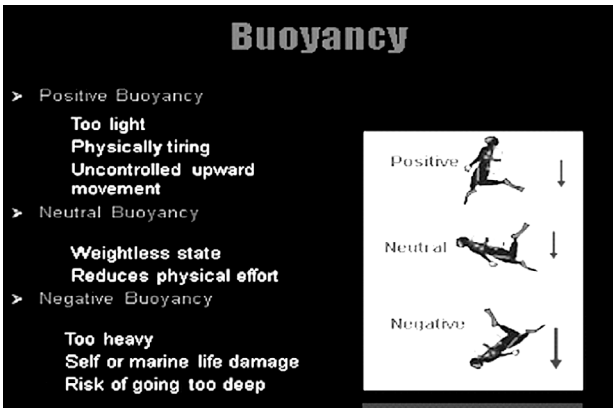
غواصان با استانداردهای قابل توجهی در آب فرو می‌روند تا شناوری Bouyancy خودشان را تغییر دهند این امر به آنها کمک می‌کند تا در آب غوطه‌ور شوند و با توجه به عمق صعود کنند یا در شرایط اضطراری شناور بمانند.

در این قانون تاریخی مشخص میشود که هر جسم غوطه‌ور در یک سیال به اندازه حجم مایع جابه جاشده ضربدر جرم‌حجمی مایع از وزن مجموع آن کاسته میشود.

لذا یک غواص معادل حجم بدنش ضربدر جرم‌حجمی آبی که در آن قرار دارد (آب شور یا شیرین متفاوت‌اند) از وزن بدنش کاسته میشود رعایت و محاسبه این قانون برای ایجاد حالت شناوری صفر یا طبیعی NATURALBUOYONEY[1] بسیار مهم است.

کمربندهای غواصی جهت ایجاد یک شناوری صفر توسط سوپروایزر غواصی و نوع لباس غواص محاسبه و بسته میشوند اگرچه لباسهای دو لایهDOUBLE JACKET[2] با افزایش یا کاهش هوای بین دولایه شناوری را متعادل میکند که احتیاج به آموزش خاص و کسب مدرک این دوره را دارد چرا که در حالتی که شناوری مثبت است POSITIVE BOUYANCY غواص بدون اراده به سطح نزدیک می‌شود و در فعالیتهای نظامی بسیار خطرناک است در شرایط شناوری منفی غواص بدون اراده به عمقش اضافه میشود و در صورت حادث شدن NITROGEN-NARCOSIS عدم آگاهی به فشارسنج و عمق‌سنج میتواند یک سیکل معیوب و نهایتاً باتررومهای شدید ایجاد کند.

۱
۲



شکل ۳۳-۲

در غواصی درک صحیح عوامل موثر بر ایجاد شناوری طبیعی یک نکته بسیار مهم است لذا درک صحیح قانون ارشمیدس بر اساس درک چگالی یا جرم‌حجمی سیالات و میزان نیروی شناوری وارد شده بر حجم (در بسیاری موارد و تجهیزات همراه غواص خود حجم زیادی دارند که از وزن کل غواص کم میکند) بناشده‌است.

جرم‌حجمی یا وزن مخصوصSG (Specify gravity) را برای آب مقطر معادل یک گرم برسانتی‌مترمکعب یا یک کیلوگرم بر لیتر در نظر می گیرند.

$$P = \frac{M}{V} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}$$

مثلا سرب با جرم‌حجمی ۱۳/۵، وزنش ۱۳/۵ برابر آب هم حجم خودش است.

اینکه یک جسم در آب فرو میرود یا؟ به جرم‌حجمی آن برمی‌گردد اگر باشد جسم در آب فرو میرود و اگر باشد جسم در سطح آب غوطه‌ور میگردد.

جرم‌حجمی بدن انسان به طور متوسط کمی بیش از یک است ولی اینSG کاملاً وابسته به میزان بافت چربی بدن و حجم ششهاست در شرایط ارادی با افزایش حجم ششها می توان شناوری مثبت و غوطه‌وری در سطح آب را تجربه کرد ولی در غواصی آنچه مهم است شناوری صفر یا بی وزنی در غوطه وری است این نکته در تمام مراحل انجام یک عملیات غواصی و میزان انرژی به کار برده شده موثر است.

اصولاً آب دریا نسبت به آب شیرین و آب مقطر دارایSG بیشتری است هر چقدر میزان شوری و املاح آب بیشتر باشد جرم‌حجمی آن بیشتر و در نتیجه نیروی غوطه‌وری آن بیشتر می‌گردد.

میزان هوای موجود در احشای شکمی و حجم چربی موجود و تجهیزات همراه همه روی شناوری غواص موثرند و ایجاد یک شناوری صفر برای رعایت ایست های ایمنی[۱] از اهمیت بالای برخوردار است چرا که گاهی غواص در عمق های مشخصی بر اساس دستور کامپیوتر غواصی نیاز به ایست و توقف در یک عمق خاص دارد که شناوری مثبت یا منفی باعث صدمات باروتروماییی یا سندرم تقلیل فشار(DSC) گردد.

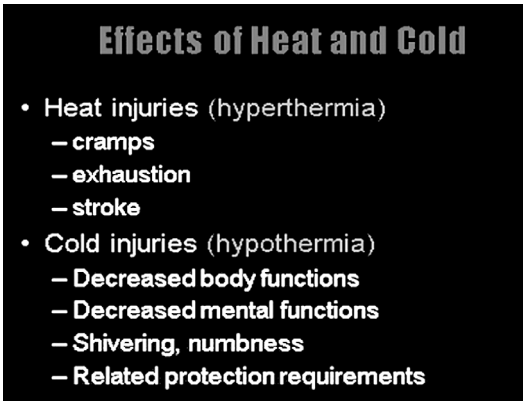
۱ Safety Stop

اثرات فیزیکی محیط زیست PHYSICAL EFFECTS OF ENVIRONMENT

درجه حرارت Enviromental Temperture

دمای متوسط بدن ۳۷° و دمای متوسط آبهای اقیانونس حدود ۲۰°-۱۲°درجه سانتی گراد است ضمن اینکه دمای آبها با افزایش عمق کاهش می‌یابد ولی لایه‌هایی از آب در اقیانوس دارای دمای متفاوتی هستند که جریانهای آب اقیانوسی را باعث می‌شوند و بنام لایه‌های (Thermoclines) معروف اند. عبور جریانهای آب سرد باعث ایجاد یک تفاوت دمایی (Tempresure Gradient) بین بدن غواص و محیط اطراف می‌شود. بدلیل بالا بودن ظرفیت گرمایی ویژه آب، هدایت حرارتی سریع اتفاق می‌افتد و غواص دچار هیپوترمی می‌گردد در عمل برای جلوگیری از این حادثه لباسهای wet suitدوجداره که بین آنها هوا قرار می‌گیرد و استفاده از یک Rubber Skin در انواع Dry Suit مانع یخ زدن غواص در جریانهای آب سرد می‌گردند.

حرارت بدن شکلی از انرژی است که سطحی از آن می‌تواند با اندازه‌گیری درجه حرارت بدن تخمین زده شود.



شکل ۳۴-۲

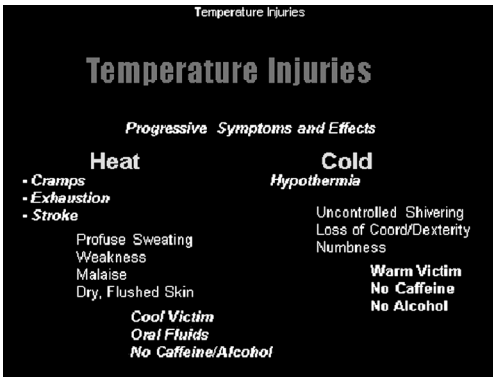
در انرژی گرمایی از نواحی درجه حرارت بالا به نواحی درجه حرارت پایین جریان می‌یابد. انتقال حرارت مهم است تا هدایت حرارتی در غواص انجام شود (یا انتقال حرارت با تماس مستقیم) این حالت ممکن است باعث (درجه حرارت پایین بدن)[۱] شود.

معمولاً درجه حرارت آب با عمق کاهش می‌یابد اما درجه حرارت در لایه‌های آب ممکن است متفاوت باشد (Thermoclines). که اصطلاحاً بنام ترموکلاین معروف است.

آب سرد، gradient درجه حرارت را ایجاد می‌کند که در طول آن گرما از بدن عبور می‌کند که حاصل از دست دادن حرارت مداوم درون آب است. این فرآیند با ظرفیت بالای آب به هدایت و جذب گرما کمک می‌کند.

---

۱ hypothermia



شکل ۳۵-۲

از آنجایی‌که حفظ دمای طبیعی بدن برای عملکرد فیزیولوژیکی ضروری است اولین گام برای غواص به حداقل رساندن گرمای از دست رفته می‌باشد. این امر ممکن است با قرار دادن یک لایه‌ای از هوا (هادی ضعیف گرما) بین غواص و آب انجام شود.

نور و رنگ LIGHT & COLOR

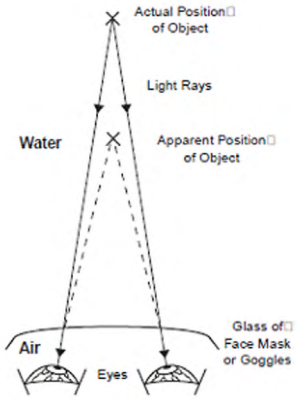
دید در زیر آب تحت تأثیر ماسکی که غواص از آن استفاده می‌کند، جذب نور به وسیله آب، شدت نور تیرگی آب قرار می‌گیرد که بستگی به مقدار ماده و معلق در آن دارد. نگاه کردن از میان ماسک غواصی یا کلاه ایمنی غواصی اشیا را در زیر آب ۲۵ تا ۳۵٪ بزرگنمایی می‌کند و بنابراین باعث می‌شود که آنها نزدیکتر به نظر برسند. این جابجایی تصویر نتیجه تفرق یا رفراکسیون نور وقتی از آب از میان ماده ماسک گذشته و به گاز می‌رسد می‌باشد و می‌تواند غواصان مبتدی و تازه‌کار را به اشتباه بیندازد. ماسک یا کلاه ایمنی همچنین دید محیطی غواص را تا ۵۰ درصد محدود می‌کند. ماسک‌ها با نواحی دید بزرگتر میدان دید را افزایش می‌دهند.

Stereoacuity یا ادراک در عمق، توانایی تعیین فاصله نسبی بین اشیاء نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این به خصوص در آب شفاف و تمیز مشهود است و با کاهش شفافیت نور در آب و افزایش اغتشاش و بی‌نظمی بدتر می‌شود. کاهش Contrast در زیر آب، حتی در آب شفاف در دیدن پدیده نقش دارد. جذب نور بر روی دید در زیر آب با کاهش نور موجود تأثیر دارد. در آب شفاف فقط حدود ۲۰٪ نور برخوردی به عمق ۳۳ فوت (۱۰ متر) نفوذ می‌کند. نور موجود همچنین با کاهش زاویه برخوردی نور خورشید به سطح آب کاهش می‌یابد و وقتی خورشید به افق نزدیک می‌شود و نور بیشتری منعکس می‌گردد. به هرحال در آب شفاف با زاویه بالای خورشید، نور سودمند ممکن است در عمق ۱۹۸ تا ۲۹۷ فوت (۶۰-۹۰ متر) یافت شود.

با افزایش اغتشاش و بی‌نظمی، نفوذ نور کاهش می‌یابد. در بسیاری رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و بنادر، ممکن است نور قابل استفاده وجود نداشته باشد حتی در چندین فوت سطح. تغییرات در درک رنگ روی می‌دهد چون آب به طور اختصاصی طول موج‌های بسیار کوتاه و بسیار بلند نور را جذب می‌کند. در اعماق نسبتاً کم، طیف قرمز – نارنجی از بین می‌رود و اکثر اشیاء سبز – آبی بنظر می‌رسند. برای مثال در عمق حدود ۱۰ فوت، خون بیشتر سبز بنظر می‌رسد تا قرمز. اگر یک منبع نور زیر آب بکار رود، بهرحال رنگ بنظر طبیعی می‌رسند.

دید در محیط‌های خشک زیاد تغییر نمی‌کند. تنها مشکل مربوط به دیدی که ممکن است در غواصی‌های مکرر یا اشباع طولانی روی دهد از بین رفتن جزئی شدت دید و تمایل به esophoria می‌باشد.

شکل ۲-۳۰ تصاویر در زیر آب بسمت غواص جابجا می‌شوند. موقعیت ظاهری نزدیکتر بعلت رفراکسیون (تفرق) پرتوهای نور وقتی آنها از میان آب، ماده مربوط به ماسک صورت و گاز داخل ماسک عبور می‌کنند می‌باشد.



شکل ۲-۳۶

شکست نور در عبور از محیط با ضریب شکست، متفاوت است که اغلب دانسیته غیر یکسان دارند که به آن انعکاس یا (REFLECTION) گویند ضریب شکست (REFLECTIVE INDEX) در آب، در شیشه ماسک غواصی، هوای پشت شیشه و چشم غواص کاملاًمتفاوت است، لذا در غواصی دید به دلیل کمبود نور، آلودگی هوا، اختلالات انکساری چشم غواص می‌تواند شدیداً تحت تاثیر قرار گیرد حداقل این ضریب حدود ۲۵٪ است که غواص اجسام را نزدیکتر و بزرگتر می‌بیند ولی اگر غواص دارای اختلالات انکساری چشم باشد این وضعیت تشدید می‌گرددمگر غواصانی که نوع دوربینی (HYPEROPIA) معادل ۲۵٪ را دارند که عملاًزیر آب این مشکل حل می‌شود برای غواصان تازه کار اختلالات در تشخیص مسافت و سایز اجسام یک معضل است و حتی این اختلال در غواصان با تجربه نیز دیده می‌شود.

نور خورشید مجموعه‌ای از هفت رنگ می‌باشد که توسط انسان قابل تشخیص است که به دلیل اختلاف در طول موج و فرکانس آنهاست طول موج قرمز در عمق یک متری جذب می‌شود، طول موج نارنجی در عمق پنج متری، زرد در عمق ده متری رنگ سبز و آبی به بیشتر از ده متر می‌رسند و این تنها دلیلی است که اشیاء در عمق حدود ۱۵-۱۰ متری به رنگ آبی و سبز دیده می‌شوند.

باقیمانده جلبکها و میکرو ارگانیسم ها در کنار ساحل وجود دارند که زرد هستند ولی در برخورد با نور خورشید و جذب طیف آبی، سبز رنگ به نظر می‌رسند ولی در نزدیک OFSHORE (۱۰۰ تا ۲۰۰ متری ساحل) بدلیل نفوذ طیف آبی، اغلب آبی رنگ هستند و در دوربینهای عمیق، بیشتر نورها و اجسام، آبی و سبز دیده می‌شوند رنگ ماهی‌ها و مرجان ها اغلب به صورت سبز آبی دیده می‌شود.

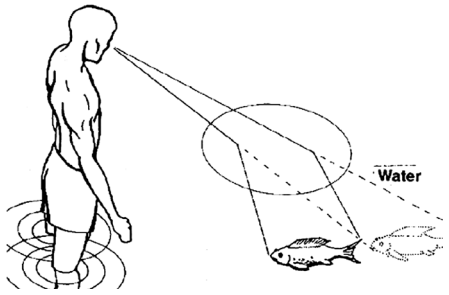
بنا به دلایل ایمنی بهتر است که لباس و تجهیزات غواصی به رنگ‌هایی طراحی شوند که اختفای بیشتری را ایجاد سازند مثلاًرنگ قرمز در سطح کاملا دیده می‌شوند و رنگ سیاه به دلیل جذب نور قرمز و ایجاد نوعی سایه از طرف

غواصان تیم بهتر قابل شناسایی است و برعکس به دلیل تمام طیفهای خود، یک رنگ مخفی به حساب می‌آید ضمن اینکه بسیاری بر این باورند که اغلب ماهی‌ها به خصوص کوسه‌ها توانایی دیدن رنگ سیاه را ندارند اگرچه بوی خون و ادرار خیلی سریع باعث تحریک و حمله این حیوانات خواهد شد.

موادی که نور را انتقال می‌دهند تمایل اندکی به تغییر مسیر اشعه نور دارند که از بین آنها عبور می‌کند. این پروسه انکسار نامیده می‌شود (شکست نور). درجه‌ای که این کار صورت می‌گیرد ضریب شکست نامیده می‌شود. هر زمانی که نور از یک رابط بین مواد با شاخص‌های انکساری متفاوت عبور کند خود مسیر خم می‌شود.

هنگامی که یک غواص اشیاء زیر آب را نظاره کند نور باید از طریق آب به شیشه ماسک صورت منتقل شود و هوا در ماسک قبل از آن به چشمان او برسد. اشعه‌های نور در هریک از این واسطه‌ها شکسته می‌شوند و تغییر شکل آنها باعث می‌شود که اجسام بزرگتر به نظر برسند و به ۲۵٪ نزدیک‌تر شوند.

تا زمانیکه غواص با این تغییر سازگار شود این تغییر ممکن است تشخیص سایز و مسافت جسم را مشکل سازد. این کار در عمل باعث به وجود آمدن مشکلاتی می‌شود، نمونه‌های ساده نظیر ماهیگیری



شکل ۳۷-۲

ماهی نزدیک تر به نظر می‌رسد چرا که اشعه نور به واسطه هوا / آب شکسته می‌شود. دید شفاف چشم بستگی زیادی به شکست پرتوهای نور دارد تا بین هوای جلو چشم و قرنیه عبور کند (سطح روشن متقابل چشم). اگر چشم‌ها در زیر آب بدون ماسک صورت باز شوند عدم وجود این واسطه‌های هوا / قرنیه باعث تاری دید می‌شود.

آب، رنگ‌ها را با درجات مختلف جذب می‌کند. در آب تمیز اقیانوسی، رنگ قرمز در عمق یک متری جذب می‌شود، رنگ نارنجی در عمق ۵ متری، زرد در عمق ۱۰ متری و رنگ سبز و آبی در عمق بیشتر ظاهر می‌شود. این مسئله شرح می‌دهد که چرا بسیاری از چیزها صرف نظر از رنگشان در سطح آب، با سایه‌های رنگی آبی یا سبز در اعماق بیش از ۱۰ متر ظاهر می‌شوند. اشعه‌های نور توسط ذرات ریز آب شکسته (Refrraction) می‌شوند و سایه‌هایی را می‌سازد که کمتر قابل تشخیص‌اند و به وضوح توانایی دید را با مسافت زیاد کاهش می‌دهند.

آب نزدیک ساحل معمولاً حاوی ترکیبات مایل به زرد و حاصل از خرابی رنگ سبز است که اغلب رنگ‌های بیشتری را به جز رنگ سبز جذب می‌کند. در نتیجه آب تمیز اقیانوس به نظر می‌رسد که آبی باشد در حالیکه در نزدیک ساحل Inshore یا در نزدیک (خلیج) آب سطح، سبز به نظر می‌رسد.

از آنجاییکه عمق آب اساساً توسط نور آبی و سبز روشن می‌شود رنگ مرجان‌ها و ماهی در این اعماق با درخشش

کمتری دیده می‌شوند مگر اینکه توسط چراغ قوه یا فلش دوربین روشن شوند.
بنابه دلایل ایمنی بهتر است که غواص از تجهیزات و لوازم غواصی رنگ شده استفاده کند. با این حال، جذب نور در زیر آب باید هنگام انتخاب این رنگ‌ها در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، رنگ قرمز به راحتی در سطح آب قابل رؤیت است رنگ سیاه در عمق به دلیل جذب قابل توجهی از نور قرمز در آن طرف آب دیده می‌شود.
رنگ نارنجی فلورسنت یا رنگ زرد یا fabric بهتر دیده می‌شود زیرا اجسام فلورسنت به طور فعال نور را از خود ساطع می‌سازد و مقایسه خوبی را در برابر موجودات آبزی نشان می‌دهد.

صدا SOUND

امواج صوتی در سطح آب- هوا[1] منعکس می شوند و لذا فریاد زدن از بیرون آب هیچ ثمری نداشته و عملاًتوسط غواص شنیده نمی‌شود.
در زیر آب به دلیل بالا بودن چگالی، امواج صوتی سریعتر از هوا حرکت می کنند و لذا تعیین مکان تولید صدا[2] در آب تقریباًغیر ممکن است.
تمام غواصان تجربه شنیدن صدای موتور قایقها را در زیر آب دارند، و می دانند که فاصله و مسیر حرکت قایق را از طریق شنیدن صدا در آب نمی توان تشخیص داد.
بلکه ناشی از تغییراتی در رسانایی در گوش میانی به دلیل افزایش دانسیته گاز است و با کاهش فشار قضیه برعکس می‌شود. این هم در مورد محیط‌های نیتروژن-اکسیژن و هم در مورد محیط‌های هلیم-اکسیژن صادق است.
شنوایی در زیر آب وضعیت کاملاً متفاوتی است. چون دانسیته‌های بافتهای بدن انسان و آب مشابه هستند سر غوطه‌ور در آب نسبت به انرژی صدا «شفاف» است. علاوه بر این، آب در کانال گوش خارجی ارتعاشات ایجاد شده در پرده صماخ را مرطوب می‌کند. بنابراین شنوایی در زیر آب بیشتر از طریق هدایت استخوان روی می‌دهد تا از طریق گوش میانی و با ۵۰ تا ۷۵٪ کاهش در آستانه شنوایی تعیین محل صدا در زیر آب مشکل است و صدا در آب نسبت به هوا سریع تر حرکت می‌کند و اختلاف در زمانی را که در آن صدا به هر گوش می‌رسد کاهش می‌دهد. بدون این اختلاف، تعیین موقعیت اغلب می‌تواند غیرممکن باشد.
قابل فهم بودن صحبت در غواصی یک مشکل است. در آب صحبت کردن با یکدیگر بدون وسیله ارتباطی برای غواصان مشکل است چون برای انتقال صدا در زیر اب فقط به وسیله صوت نیاز به انرژی بسیار زیادی است. غواصانی که کلاههای ایمنی سخت و محکمی می‌پوشند می‌توانند بوسیله لمس کردن کلاه‌ها با یکدیگر صحبت کنند به گونه‌ای که صدا مستقیماً از طریق یک کلاه ایمنی به کلاه ایمنی دیگر انتقال می‌یابد. در حالیکه قابل فهم بودن و وضوح سخن زمانی که دانسیته مخلوط نیتروژن-اکسیژن افزایش می‌یابد کاهش می‌یابد، سخن گفتن اغلب در مخلوط گازهای هلیم-اکسیژن به کار می‌رود غیرممکن است چون هلیم رزنانس ساختارهای ایجاد کننده صوت و حفره‌های پرشده از گاز را تغییر داده و از این رو تا حد زیادی طنین صدا را تغییر می‌دهد. این باعث ایجاد صدای تودماغی می‌شود که به آن به عنوان صحبت کردن «داتلدداکی» اشاره می‌شود. اکثر غواصان اشباعی در می‌یابند

---

۱ "AIR-WATER INTERFACE"
۲ LOCALIZATION

که درک آنها از چنین صدایی بعد از چند روز تحت فشار قرار گرفتن بهبود می‌یابد اما هنوز هم ضعیف است. از دست دادن دائمی شنوایی مشکل رایجی بین غواصان در گذشته بود که به خاطر سطوح بالای سرو صدا Noise در کلاه‌های ایمنی و محفظه‌ها بودند. اگرچه غواصانی که کلاه سخت[۱] می‌پوشند هنوز هم ممکن است به این مشکل دچار شوند اما تجهیزات غواصی جدیدتر بی‌صدا تر هستند و از دست‌دادن شنوایی دیگر متداول نیست. اگر یک محفظه تراکم دارای صدا خفه‌کن برای سیستم‌های اگزوز (خروجی) و تراکم نباشد، غواصان داخل محفظه و اپراتورها باید از حفاظت شنوایی فردی برای پیشگیری از کَر شدن دائمی و موقتی استفاده کنند. یک ردیاب صوتی (سونار) از سیگنالهای صدای انتشار یافته در آب برای جنبه‌های خاصی از عملیات استفاده می‌کند (یعنی سونار فعال) استانداردهایی برای عملیات غواصی نزدیک منابع سونار فعال در دستورالعمل NAVSEA سری ۳۱۵۰,۲ تعریف می‌شوند. قرار گرفتن در معرض سونار می‌تواند اثرات شنوایی و غیرشنوایی ایجاد کند. قرارگرفتن در معرض فشار صدای بالا در آب مشابه قرار گرفتن در معرض نویز بالا در هواست و باعث تغییر آستانه موقتی یا کری حسی عصبی می‌شود. اینکه کاهش شنوایی موقتی باشد و یا دائمی بستگی به سطح فشار صدا و فرکانس سیگنال سونار دارد. اگر سیگنال سونار[۲] در رِنج نزدیکی تقویت نشود خطر کمی وجود دارد چون غواصی که در ناحیه منبع سونار شنا می‌کند می‌تواند سیگنال را بشنود یا احساس کند و از منطقه خطر دور بماند. گزارش شده که غواصانی که در معرض سونار قرار می‌گیرند ارتعاشات (در بخش‌هایی از بدن یا کل آن) سرگیجه، استفراغ، ناراحتی عمومی، گیجی و سردرگمی، کاهش توانایی برای تمرکز، خستگی و درد مفاصل را احساس می‌کنند. ارتعاش پدیده‌ای مکانیکی است در حالیکه سرگیجه و تهوع و استفراغ و ناراحتی اثراتی را روی سیستم دهلیزی نشان می‌دهند. به طور مشابه تهوع و استفراغ و سرگیجه گاهاً در بیمارانی با علائم یا نشانه‌های دهلیزی ایجاد شده به وسیله سرو صدا Noise بلند به نام (پدیده TULLION) نامیده می‌شوند. ترکیب سردرگمی و گیجی، کاهش تمرکز و خستگی مشابه، نشانه‌های دیده شده در بیماری حرکتی است و احتمالاً حاصل از شبیه‌سازی صدای سیستم دهلیزی است. علت درد مفصل مشخص نیست. پیروی از استانداردهای انتشار یافته بین المللی در مورد میزان در معرض قرارگیری باید باعث پیشگیری از این علائم گردد.

ارتفاع "ALTITUDE"

در ارتفاع که فشار اتمسفری کمتر از یک اتمسفر می شود، خطرات خاصی غواص را تهدید می کند مثلاًتجهیزات غواصی مثل عقربه فشارسنج دقیق نیست و قواعد غواصی باید تغییر کند تا احتمال باروتروما‌ی ریوی و سندرم تقلیل فشار "DCS" زیاد نشود.

این موضوع در فصلهای بعدی دقیقتر توضیح داده می شود.

اگر نشان داده شود که ارتفاع کمتر از (ATA ۱) است اثرات گوناگون آن ممکن است زندگی غواص را به مخاطره اندازد.

برخی از تجهیزات ممکن است تحت تأثیر قرار گیرند به عنوان مثال، فشارسنج و یا نمودارهای غواصی که بایداصلاح شود تا از Barotrauma ریوی و بیماری Decompression جلوگیری شود (به فصل ۶ رجوع شود).

۱ HARD HAT

۲ موج مکانیکی، صدای خشن