



مروری بر روش محاسبات تعیین pH و تعیین مقدار اسید و باز در شیمی تجزیه - اسید / باز قوی تک ظرفیتی دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی شیراز

نیمسال دوم ۱۴۰۳

تهیه توسط دکتر سارا رسول امینی

در این فایل به ترتیب ابتدا روش های محاسبه و تعیین pH در محلول آبی اسید و باز(قوی) به صورت مستقل مرور می گردد. سپس روش های محاسبه و تعیین pH در محلول آبی تیتراسیون اسید قوی با باز قوی و بالعکس(بازقوی با اسید قوی) به صورت جمع بندی مرور می شود. این قسمت از محاسبات به صورت کاربردی برای محاسبه pH در مخلوط های آبی اسید و باز نیز به کار می آید. همچنین توجه داشته باشید که به صورت معکوس نیز از این روش محاسبه استفاده می شود: یعنی برای یک عدد pH، مقدارنسبی اسید و باز تشکیل دهنده قابل محاسبه است. همچنین توجه کنید برای مخلوط حاصل از هر مرحله از تیتراسیون می توان غلظت کاتیون و آنیون همراه که درگیر واکنش اسیدی یا بازی نمی شوند نیز محاسبه کرد. درباره هر یک از این محاسبات:

- ابتدا فرمول شیمیایی مستقل هر جز در محیط مورد بحث(معمولا محیط آبی)

- سپس فرمول شیمیایی واکنش بین اجزا نوشته شود.

- پس از آن با توجه به مفاهیم واکنش بین دو جز، فرمول محاسبه نسبت به موقعیت مورد سوال نوشته شود.

- توجه شود که اجزای شیمیایی همگی در واحد مولاریته (داخل علامت براکت [...]) معرفی می شوند.

- در ادامه عددگذاری در فرمول انجام شود.

- در پایان جواب نهایی گزارش شده، تغییرات بین موقعیت های تیتراسیون مقایسه و استدلال شود.

با طی کردن این مراحل آماده پاسخ به انواع پرسش ها در آزمون از این مبحث خواهید بود.

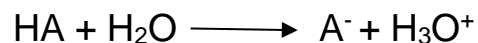


• **تعیین pH برای نمونه اسید قوی / باز قوی تک ظرفیتی در آب:**

ابتدا معادله شیمیایی رفتار ماده مورد نظر به صورت مستقل در محیط آب نوشته می شود.

سپس مقدار  $H^+$  یا  $OH^-$  آزاد شده در محیط آبی (aqueous) از اسید یا باز قوی با احتساب صد درصد یونیزاسیون در قالب واکنش یک طرفه محاسبه می شود.

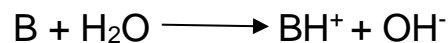
• **اسید قوی با فرمول عمومی HA:**



$$[H^+] = [H_3O^+] = [A^-] = \text{molarity of acid}$$

$$pH = -\log[H^+]$$

• **باز قوی با فرمول عمومی B:**



$$[OH^-] = [BH^+] = \text{molarity of base}$$

در محیط آب معادلات زیر همیشه برقرار است:

$$K_w = [H^+] \times [OH^-];$$

$$10^{-14} = 10^{-7} \times 10^{-7};$$

$$\text{hence: } [H^+] = [H_3O^+] = \frac{K_w}{[OH^-]}$$



مروری بر روش محاسبات تعیین pH و تعیین مقدار اسید و باز در شیمی تجزیه - اسید / باز قوی تک ظرفیتی دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی شیراز

به نام خدا

نیمسال دوم ۱۴۰۳

تهیه توسط دکتر سارا رسول امینی

$$\text{pH} = 14 - \log [\text{OH}^-]$$

• تیتراسیون اسید قوی (آنالیت) با استفاده از باز قوی (تیترانت) در محیط آبی (aqueous):

روش محاسبه pH را در چهار موقعیت کلیدی تیتراسیون شامل:

۱- نقطه صفر (قبل از افزودن تیترانت)

۲- نقاط قبل از اکیوالانت

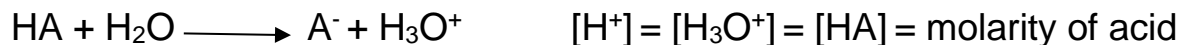
۳- نقطه اکیوالانت

۴- نقاط بعد از اکیوالانت

بررسی نموده و سپس حدود سرعت و شیب تغییرات pH ( $\Delta\text{pH}$ ) مقایسه و استدلال می گردد.

• تیتراسیون اسید قوی تک ظرفیتی (HA) (غلظت  $M_a$  و حجم  $V_a$ ) با استفاده از باز قوی تک ظرفیتی (B) (غلظت  $M_b$  و حجم  $V_b$ ):

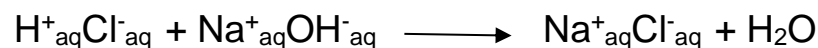
اسید قوی در محیط آبی (در داخل ارلن) به عنوان آنالیت:



باز قوی در محیط آبی (در داخل بورت) به عنوان تیترانت استاندارد شده:



واکنش اسید قوی با باز قوی در محیط آبی در داخل ارلن در طول تیتراسیون:



$$K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14} = 10^{-7} \times 10^{-7} ; \quad [H^+] = [H_3O^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} ; \quad pH = 14 - \log [OH^-]$$



• تعیین pH در زمان های مختلف در تیتراسیون اسید قوی (آنالیت) با استفاده از باز قوی (تیترانت):

۱. نقطه صفر (قبل از افزودن تیترانت):

روش محاسبه pH در نقطه صفر تیتراسیون (قبل از افزودن تیترانت) بر اساس تعیین pH برای یک اسید قوی در محیط آبی مطابق فرمول  
 $pH = -\log[H^+] = -\log M_a$   
 روبرو و بر اساس توضیحات قبلی می باشد:



## ۲. نقاط قبل از اکیوالانت:

در صورتیکه از حدود مولاریته آنالیت اطلاع داشته باشیم، حدود حجم لازم از تیترانت برای رسیدن به نقطه اکی والانت ( $V_{eq}$ ) قابل تخمین است؛ پس می توان حدود حجم های قبل از اکی والانت را نیز پیش بینی نمود.

در شرایطی که محتویات ارلن به صورت یکنواخت در حال هم خوردن هست، هر قطره تیترانت (محلول آبی باز استاندارد شده) که از داخل بورت به محلول آنالیت (محلول آبی اسید) در ارلن اضافه می شود، به اندازه تعداد مول ( $M_b V_b$ ) از آنیون هیدروکسید ( $OH^-$ ) که در خود دارد با مقدار هم اکی والانت (هم سنگ) خود از  $H^+$  در محلول آبی اسید در ارلن واکنش کامل (complete reaction) داده، با توجه به ضرایب واکنش با همان تعداد مول آب و نمک یونیزه  $Na^+_{aq} Cl^-_{aq}$  در محیط آبی در داخل ارلن تولید می کند. به این ترتیب در نقاط قبل از اکی والانت همواره از تعداد مول های اولیه اسید ( $M_a V_a$ ) در داخل ارلن به اندازه تعداد مول های باز اضافه شده ( $M_b V_b$ ) در مراحل تیتراسیون کاسته می شود؛ پس تعداد مول های اسید باقیمانده در نقاط قبل از اکی والانت همواره از تفاضل ( $M_a V_a - M_b V_b$ ) محاسبه می شود. عدد pH در تمامی نقاط قبل از اکی والانت وابسته به تعداد مول اسید یا  $H^+$  حاصل از اسید قوی است که در داخل ارلن باقیمانده است؛ که در این نوع تیتراسیون همواره صعودی و همواره در محدوده کمتر از ۷ (در محدوده اسیدی) می باشد.

بدیهی است در ابتدای شروع تیتراسیون قطرات اولیه از تیترانت (باز) تغییر قابل توجهی در pH ایجاد نمی کند. در تیتراسیون اسید قوی، تغییرات صعودی pH ( $\Delta pH$ ) در نقاط اولیه بعد از نقطه صفر بسیار کم است و به تدریج در نقاط قبل ولی نزدیک به نقطه اکی والانت کمی بزرگتر می شود.



### ۳- نقطه اکیوالانت:

نقطه اکیوالانت، همان نقطه برابری تعداد اکیوالانت مولی تیترانت و آنالیت، در موارد تیتراسیون اسید و باز شامل زمان حذف کامل اسید(یا کاتیون هیدرونیوم ( $H_3O^+$ ) یا  $H^+$ ) در داخل ارلن می باشد. به این ترتیب در این موقعیت ارلن دارای آب و نمک می باشد. در موارد تیتراسیون اسید و باز قوی عدد pH در این نقطه برابر با عدد pH برای آب خالص یعنی ۷ می باشد. همانطور که در قسمت قبل از اکیوالانت توضیح داده شد، تغییرات pH در حجم های کمی قبل از حجم اکیوالانت شدت گرفته، در نقطه اکیوالانت از محدوده اسیدی با شیب زیاد به ۷ می رسد. این منطقه در رسم منحنی تیتراسیون به صورت یک خط تقریباً عمود بر محور X (محور حجم تیترانت) نمایش می شود.

در اجرای عملی تیتراسیون در آزمایشگاه اعلام نقطه پایانی (end point) در تیتراسیون بسته به ابزار شناسایی نقطه اکیوالانت می باشد:

در صورت استفاده از دستگاه pH متر شاید خیلی خیلی نزدیک به نقطه اکیوالانت اصلی

در صورت استفاده از معرف pH کمی پس از نقطه اکیوالانت اصلی (equivalent point) خواهد بود.

این تفاوت همان خطای مطلق در اجرای آزمایشگاهی تیتراسیون می باشد.



#### ۴- نقاط بعد از اکیوالانت:

در شرایطی که محتویات ارلن به صورت یکنواخت در حال هم خوردن هست، در حجم های بعد از حجم نقطه اکیوالانت از هر قطره تیترانت (محلول آبی باز استاندارد شده) که از داخل بورت به محلول آبی در ارلن اضافه می شود، به اندازه تعداد مول ( $M_b V_b$ ) موجود در قطره اضافه شده (بسته به غلظت و مولاریته باز به عنوان تیترانت) آنیون هیدروکسید ( $OH^-$ ) به محتویات آبی ارلن وارد می سازد. به بیانی در اولین نقاط بعد از اکیوالانت، باز قوی به آب در ارلن اضافه می شود (تمامی اسید موجود اولیه با باز اضافه شده در نقطه اکیوالانت واکنش کامل داده، آب و نمک تولید شده)؛ پس می تواند با توجه به غلظت و قدرت بازی خود منجر به تغییر قابل توجه در pH به سمت بازی شود.

در صورتیکه تیتراسیون با استفاده از دستگاه pH متر انجام شود، تغییرات صعوی pH به بالاتر از ۷ در صفحه نمایش دستگاه قابل خوانش می باشد.

در صورتیکه تیتراسیون در حضور معرف pH انجام شود، اولین قطره بعد از اکیوالانت با معرف حساس به pH وارد واکنش اسید باز منجر به ایجاد تغییر رنگ در محلول با پایه آبی می شود.

در ادامه با افزودن قطره های بیشتر از باز در واقع باز به محلول باز در آب اضافه می شود؛ که با وابستگی به قدرت باز مورد استفاده (مولاریته و غلظت) به تدریج شیب تغییرات pH کند شده،  $\Delta pH$  کوچکتر شده و منحنی تغییرات به سمت خط نسبتاً صاف یا plateau جهت می گیرد.

برای محاسبه pH در نقاط بعد از اکیوالانت نیاز است غلظت آنیون هیدروکسید ( $OH^-$ ) وابسته به تعداد مول های باز اضافه شده ( $M_b V_b$ ) به ارلن محاسبه شود. به این منظور حاصل تفاضل تعداد مول های باز اضافه شده ( $M_b V_b$ ) از ابتدای تیتراسیون با تعداد مول های اسید اولیه ( $M_a V_a$ ) در ارلن ( $M_b V_b - M_a V_a$ ) تعیین کننده جز موثر در pH یعنی  $OH^-$  در این مرحله می باشد. بدیهی است در این قسمت برای محاسبه pH که -



$\log[H^+]$  می باشد، لازم است از رابطه ثابت تعادل آب ( $K_w$ ) استفاده گردد. بزرگی عدد pH،  $\Delta pH$  و شیب تغییرات آن در تمامی نقاط بعد از اکی والانت وابسته به غلظت، تعداد مول و قدرت بازی باز مورد استفاده به عنوان تیترانت می باشد؛ که در این نوع تیتراسیون همواره صعودی

	V total = $V_a + V_b$	Mmole of analyte	[Analyte] in mixture	Mmole of titrant	[Titrant] in mixture	$[H^+] = [H_3O^+]$	$[OH^-]$	pH
$V_{titrant} = 0$	$V_{analyte}$	$M_a V_a$	$M_a$	0	0	$M_a = ?$	$10^{-14}/M_a$	$-\log M_a$
$V_{titrant} < V_{eq}$	$V_a + V_b$	$(M_a V_a - M_b V_b)$	$\frac{M_a V_a - M_b V_b}{V_a + V_b}$	$M_b V_b$ : consumed Hence: = 0	$\frac{M_b V_b}{V_a + V_b}$ : consumed Hence: = 0	$\frac{M_a V_a - M_b V_b}{V_a + V_b}$	$\frac{K_w}{[H_3O^+]}$ = $10^{-14}/[H_3O^+]$	pH < 7  pH = ?
$V_{titrant} = V_{eq}$	$V_a + V_b$	$M_a V_a = M_b V_b$ $(M_a V_a - M_b V_b)$ : consumed Hence: = 0	$\frac{M_a V_a - M_b V_b}{V_a + V_b}$ : consumed Hence: = 0	$M_b V_b = M_a V_a$ : consumed Hence: = 0	$\frac{M_b V_b}{V_a + V_b}$ : consumed Hence: = 0	$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$	$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$  $\frac{K_w}{[H_3O^+]}$ = $10^{-14}/[H_3O^+]$	$-\log[H^+]$ = $-\log 10^{-7}$ = 7
$V_{titrant} > V_{eq}$	$V_a + V_b$	$M_a V_a < M_b V_b$ : consumed Hence: = 0	$\frac{M_a V_a}{V_a + V_b} < \frac{M_b V_b}{V_a + V_b}$ : consumed Hence: = 0	$(M_b V_b - M_a V_a)$	$\frac{M_b V_b - M_a V_a}{V_a + V_b}$	$\frac{K_w}{[OH^-]}$ = $10^{-14}/[OH^-]$	$\frac{M_b V_b - M_a V_a}{V_a + V_b}$	pH > 7  pH = $-\log[H^+]$

و همواره در محدوده بیشتر از ۷ (در محدوده بازی) می باشد.





• تیتراسیون باز قوی (آنالیت) با استفاده از اسید قوی (تیترانت) در محیط آبی (aqueous):

روش محاسبه pH را در چهار موقعیت کلیدی تیتراسیون شامل:

۱- نقطه صفر (قبل از افزودن تیترانت)

۲- نقاط قبل از اکیوالانت

۳- نقطه اکیوالانت

۴- نقاط بعد از اکیوالانت

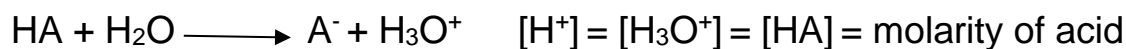
بررسی نموده و سپس حدود سرعت / شیب تغییرات pH ( $\Delta pH$ ) مقایسه و استدلال می گردد.

• تیتراسیون باز قوی تک ظرفیتی (B) (غلظت  $M_b$  و حجم  $V_b$ ) با استفاده از اسید قوی تک ظرفیتی (HA) (غلظت  $M_a$  و حجم  $V_a$ ):

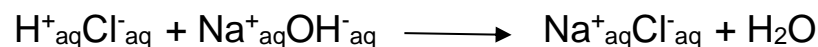
باز قوی در محیط آبی (در داخل ارلن) به عنوان آنالیت:



اسید قوی در محیط آبی (در داخل بورت) به عنوان تیترانت استاندارد شده:



واکنش اسید قوی با باز قوی در محیط آبی در داخل ارلن در طول تیتراسیون:



$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} = 10^{-7} \times 10^{-7}; \quad [\text{H}^+] = [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]}; \quad \text{pH} = 14 - \log [\text{OH}^-]$$



• تعیین pH در زمان های مختلف در تیتراسیون باز قوی (آنالیت) با استفاده از اسید قوی (تیتранت):

۱- نقطه صفر (قبل از افزودن تیتранت):

روش محاسبه pH در نقطه صفر تیتراسیون (قبل از افزودن تیتранت) بر اساس تعیین pH برای یک باز قوی در محیط آبی مطابق فرمول روبرو و با توضیحات قبلی می باشد:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 14 - \text{pOH} = 14 - (-\log[\text{OH}^-])$$

$$\text{pH} = 14 + \log M_b$$



## ۲- نقاط قبل از اکیوالانت:

در صورتیکه از حدود مولاریته آنالیت اطلاع داشته باشیم حدود حجم لازم از تیترانت برای رسیدن به نقطه اکی والانت ( $V_{eq}$ ) قابل تخمین است؛ پس می توان حدود حجم های قبل از اکی والانت را نیز پیش بینی نمود.

در شرایطی که محتویات ارلن به صورت یکنواخت در حال هم خوردن هست، هر قطره تیترانت (محلول آبی اسید قوی استاندارد شده) که از داخل بورت به محلول آنالیت (محلول آبی باز قوی) در ارلن اضافه می شود، به اندازه تعداد مول ( $M_a V_a$ ) از کاتیون هیدرونیوم ( $H_3O^+$  یا  $H^+$ ) که در خود دارد با مقدار هم اکی والانت (هم سنگ) خود از  $OH^-$  در محلول آبی باز در ارلن واکنش کامل (complete reaction) داده، با توجه به ضرایب واکنش با همان تعداد مول آب و نمک یونیزه  $Na^+_{aq} Cl^-_{aq}$  در محیط آبی در داخل ارلن تولید می کند. به این ترتیب در نقاط قبل از اکی والانت همواره از تعداد مول های اولیه باز ( $M_b V_b$ ) در داخل ارلن به اندازه تعداد مول های اسید اضافه شده ( $M_a V_a$ ) در مراحل تیتراسیون کاسته می شود؛ پس تعداد مول های باز باقیمانده در نقاط قبل از اکی والانت همواره از تفاضل ( $M_b V_b - M_a V_a$ ) محاسبه می شود. عدد pH در تمامی نقاط قبل از اکی والانت وابسته به تعداد مول باز یا  $OH^-$  حاصل از باز قوی است که در داخل ارلن واکنش نداده باقیمانده است؛ که در این نوع تیتراسیون همواره نزولی و همواره در محدوده بیشتر از ۷ (در محدوده بازی) می باشد.

مشخص است که در این قسمت برای محاسبه pH که  $-\log[H^+]$  می باشد لازم است از رابطه ثابت تعادل آب ( $K_w$ ) استفاده گردد.

بدیهی است در ابتدای شروع تیتراسیون قطرات اولیه از تیترانت (اسید) تغییر قابل توجهی در pH ایجاد نمی کند؛ در تیتراسیون باز قوی، تغییرات نزولی pH ( $\Delta pH$ ) در موقعیت های اولیه بعد از نقطه صفر بسیار کم است و به تدریج در نقاط قبل ولی نزدیک به نقطه اکی والانت کمی بزرگتر می شود.



### ۳- نقطه اکیوالانت:

نقطه اکیوالانت، همان نقطه برابری تعداد اکیوالانت مولی تیترانت و آنالیت، در موارد تیتراسیون اسید و باز شامل زمان حذف کامل باز(یا آنیون هیدروکسید  $(OH^-)$ ) در داخل ارلن می باشد. به این ترتیب در این موقعیت ارلن دارای آب و نمک می باشد. در موارد تیتراسیون اسید و باز قوی عدد pH در این نقطه برابر با عدد pH برای آب خالص یعنی ۷ می باشد. همانطور که در قسمت قبل از اکیوالانت توضیح داده شد، تغییرات pH در حجم های کمی قبل از حجم اکیوالانت شدت گرفته، در نقطه اکیوالانت از محدوده بازی با شیب زیاد به ۷ می رسد. این منطقه در رسم منحنی تیتراسیون به صورت یک خط تقریباً عمود بر محور X (محور حجم تیترانت) نمایش می شود.

در اجرای عملی تیتراسیون در آزمایشگاه اعلام نقطه پایانی (end point) در تیتراسیون بسته به ابزار شناسایی نقطه اکیوالانت (در تیتراسیون با دستگاه pH احتمال خیلی نزدیک و در تیتراسیون با استفاده از معرف pH) کمی پس از نقطه اکیوالانت اصلی (equivalent point) خواهد بود. این تفاوت همان خطای مطلق در اجرای آزمایشگاهی تیتراسیون می باشد.



#### ۴- نقاط بعد از اکیوالانت:

در شرایطی که محتویات ارلن به صورت یکنواخت در حال هم خوردن هست، در حجم های بعد از حجم نقطه اکیوالانت از هر قطره تیترانت (محلول آبی اسید قوی استاندارد شده) که از داخل بورت به محلول آبی در ارلن اضافه می شود، به اندازه تعداد مول ( $M_aV_a$ ) موجود در قطره اضافه شده (بسته به غلظت و مولاریته اسید به عنوان تیترانت) کاتیون هیدرونیوم ( $H^+$  یا  $H_3O^+$ ) به محتویات آبی ارلن وارد می سازد. به بیانی در اولین نقاط بعد از اکیوالانت، اسید قوی به آب در ارلن اضافه می شود (تمامی باز موجود اولیه با اسید اضافه شده واکنش کامل داده، قبل از آن در نقطه اکیوالانت آب و نمک تولید کرده)؛ پس می تواند با توجه به غلظت و قدرت اسیدی منجر به تغییر قابل توجه در pH به سمت اسیدی شود.

در صورتیکه تیتراسیون با استفاده از دستگاه pH متر انجام شود، تغییرات نزولی pH به پایین تر از ۷ در صفحه نمایش دستگاه قابل خوانش می باشد؛

در صورتیکه تیتراسیون در حضور معرف pH انجام شود، اولین قطره بعد از اکیوالانت با معرف حساس به pH وارد واکنش اسید باز منجر به ایجاد تغییر رنگ در محلول آبی می شود.

در ادامه با افزودن قطره های بیشتر از اسید قوی در واقع اسید به محلول اسید در آب اضافه می شود؛ که با وابستگی به قدرت اسید مورد استفاده (مولاریته و غلظت) به تدریج شیب تغییرات pH کند شده،  $\Delta pH$  کوچکتر شده و منحنی تغییرات به سمت خط نسبتاً صاف یا plateau جهت می گیرد.

برای محاسبه pH در نقاط بعد از اکیوالانت نیاز است غلظت کاتیون هیدرونیوم ( $H^+$  یا  $H_3O^+$ ) وابسته به تعداد مول های اسید اضافه شده ( $M_aV_a$ ) به ارلن محاسبه شود. به این منظور حاصل تفاضل تعداد مول های اسید اضافه شده ( $M_aV_a$ ) از ابتدای تیتراسیون با تعداد مول های باز اولیه ( $M_bV_b$ ) در ارلن ( $M_aV_a - M_bV_b$ ) تعیین کننده جز موثر در pH یعنی  $H^+$  می باشد. بزرگی عدد pH،  $\Delta pH$  و شیب تغییرات آن در تمامی نقاط بعد از



اکی والانت وابسته به غلظت، تعداد مول و قدرت اسیدی اسید مورد استفاده به عنوان تیترانت می باشد؛ که در این نوع تیتراسیون همواره نزولی و همواره در محدوده کمتر از ۷ (در محدوده اسیدی) می باشد.

$V_{\text{titrant}}$	$V_{\text{total}} = V_b + V_a$	Mmole of analyte	[Analyte] in mixture	Mmole of titrant	[Titrant] in mixture	$[H^+] = [H_3O^+]$	$[OH^-]$	pH
$V_{\text{titrant}} = 0$	$V_{\text{analyte}}$	$M_b V_b$	$M_b$	0	0	$\frac{K_w}{[OH^-]} = 10^{-14}/M_b$	$M_b$	$-\log[H^+] = 14 + \log M_b$ $pH > 7$
$V_{\text{titrant}} < V_{\text{eq}}$	$V_b + V_a$	$(M_b V_b - M_a V_a)$	$\frac{M_b V_b - M_a V_a}{V_b + V_a}$	$M_a V_a$ : consumed Hence: $= 0$	$\frac{M_a V_a}{V_b + V_a}$ : consumed Hence: $= 0$	$\frac{K_w}{[OH^-]} = 10^{-14}/[OH^-]$	$\frac{M_b V_b - M_a V_a}{V_b + V_a}$	$pH > 7$
$V_{\text{titrant}} = V_{\text{eq}}$	$V_b + V_a$	$M_a V_a = M_b V_b$ $(M_b V_b - M_a V_a)$ : consumed Hence: $= 0$	$\frac{M_b V_b - M_a V_a}{V_b + V_a}$ : consumed Hence: $= 0$	$M_a V_a = M_b V_b$ : consumed Hence: $= 0$	$\frac{M_a V_a}{V_b + V_a}$ : consumed Hence: $= 0$	$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$	$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$	$-\log[H^+] = -\log 10^{-7}$ $pH = 7$
$V_{\text{titrant}} > V_{\text{eq}}$	$V_b + V_a$	$M_b V_b < M_a V_a$ : consumed Hence: $= 0$	$\frac{M_b V_b}{V_b + V_a} < \frac{M_a V_a}{V_b + V_a}$ : consumed Hence: $= 0$	$(M_a V_a - M_b V_b)$	$\frac{M_a V_a - M_b V_b}{V_b + V_a}$	$\frac{M_a V_a - M_b V_b}{V_b + V_a}$	$\frac{K_w}{[H_3O^+]}$ $10^{-14}/[H_3O^+]$	$pH < 7$ $pH = -\log[H^+]$