

## מדידות חמצן, pH ו- $\text{CO}_2$ בטכנולוגיה אופטית בצורה חודרנית ולא חודרנית ד"ר גבריאל (גבי) לוין, ברלין טכנולוגיות

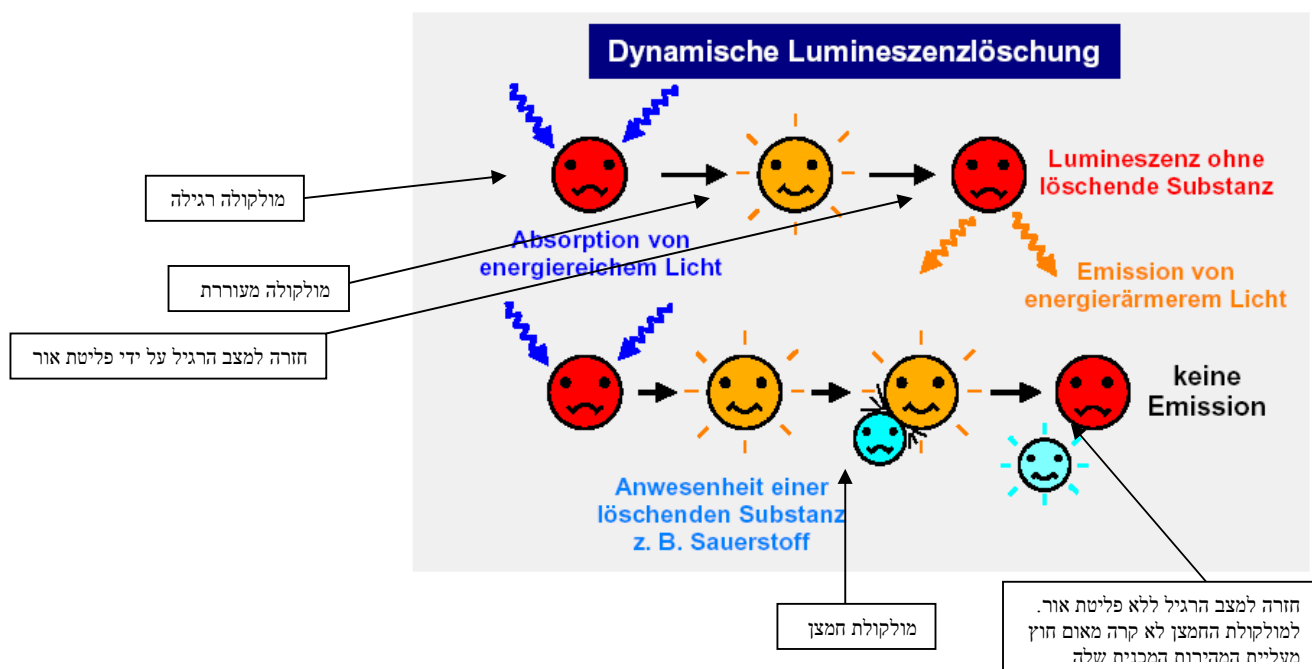
חברת ברלין טכנולוגיות מייצגת את חברת [PreSens](#) מגרמניה. חברת [PreSens](#) היא החלוצה בתחום מדידות חמצן בטכנולוגיה אופטית ויחידה כיום המספקת פתרונות גם ל-pH וגם ל- $\text{CO}_2$  בטכנולוגיה אופטית.

הטכנולוגיה האופטית עושה שימוש בתכונות של חומרים מסוימים הנקראת פלואורסצנסיה. הפלואורסצנסיה מתבטאת בכך שכאשר מקרינים על החומרים האלו אור מסוים, נאמר אור ירוק גורמים לחומר לפלוט אור בצבע אחר, למשל אדום, או אפילו בתחום האינפרא אדום. חומרים פלואורסצנטיים רבים פולטים את האור באופן מידי, וברגע שמפסיקים להאיר אותם תוך זמן קצר ביותר הם מפסיקים לפלוט את האור הפלואורסצנטי, כלומר הדעיכה של האור הנפלט תהיה מהירה מאוד. לעומתם יש חומרים שפולטים את האור ב"קצב" אטי יותר ואם נסתכל על עוצמת האור הנפלט במשך פרק זמן מסוים לאחר הפסקת ההארה נראה שהעוצמה הולכת ודועכת בקצב מסוים.

לזמן בו העצמה מגיעה למחצית מהעוצמה הראשונית אנו קוראים זמן "מחצית חיים" ומסמנים אותו באות היוונית  $\tau$  (טאו). למצב של מולקולה שהוארה ועדיין לא פלטה אור משני אנו קוראים "מצב מעורר" (EXCITED STATE). הטכנולוגיה של מדידת חמצן המבוססת על מדידה אופטית עושה שימוש בחומר בעל תכונות כאלו ושבונוסף יש לו תכונה מיוחדת שכאשר מולקולה של חמצן,  $\text{O}_2$  מתנגשת במולקולה של החומר הפלואורסצנטי במצב המעורר, האנרגיה האגורה במולקולה משתחררת בצורה של אנרגיה קינטית – אנרגיה מכנית של תנועה במקום על ידי פליטת אור משני.

כלומר, חומר פלואורסצנטי כזה שהארנו אותו וגרמנו למספר מולקולות שלו ל"התעורר" יפסיד את האנרגיה שבו בקצב יותר מהיר ככל שיש יותר מולקולות חמצן במגע אתו כיוון שחלק מהמולקולות יפלטו אור וחלק ישחררו את האנרגיה שלא על ידי פליטת אור אלא בגלל ההתנגשויות עם מולקולות חמצן. התוצאה היא שמן מחצית החיים,  $\tau$  שנראה בפועל מתקצר ככל שיש יותר חמצן בסיבה של החיפוש.

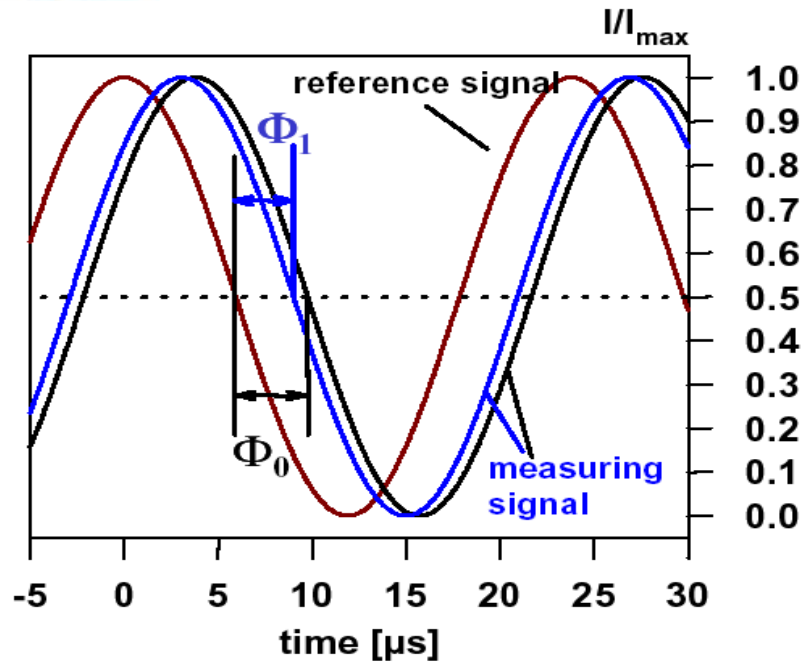
ניתן לתאר את זה בצורה הסכמטית הבאה:



המסקנה שמתבקשת מכך היא שאם נתקין חיישן המבוסס על חומר פלואורסצנטי כזה ונוכל לנמדוד את קצב הדעיכה, או את  $\tau$  של הדעיכה נוכל לבצע כיוול לרמת החמצן שנמצא בסביבת החיישן. ככל שריכוז החמצן גבוה יותר, קצב הדעיכה גבוה יותר. ככל שריכוז החמצן נמוך יותר קצב הדעיכה נמוך יותר והזמן  $\tau$  שנמדוד יהיה ארוך יותר.

חברת [PreSens](#) שכללה את הטכנולוגיה צעד אחד גדול קדימה והכניסה שכלול חשוב ביותר. את ההארה של החומר החיישני היא מבצעת למשך זמן קצר, אך העומה של האור המעורר אנו מקרינים בעוצמה משתנה בצורה מחזורית

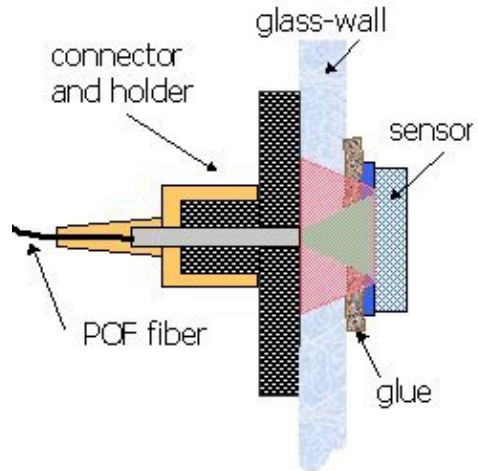
בתדירות גבוהה יחסית. כתוצאה מכך, גם העוצמה של האור הנפלט מהחומר הפלואורסנצטי תגלה גם היא מחזוריות זהה, אבל כיוון שקצב הדעיכה אינו מהיר מאוד, נוצר הפרש פאזה בין האור המעורר לאור המעורר. ניתן לראות זאת בצורה סכמטית בתמונה הבאה:



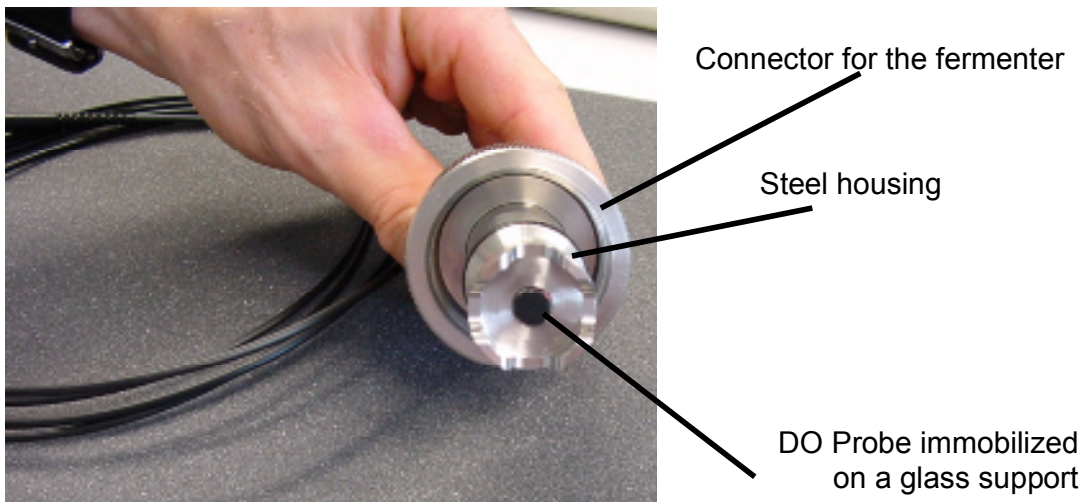
הפרש הפאזה הזה תלוי בצורה מתמטית ידועה בגורם  $\Delta\Phi$ . ככל ש- $\Delta\Phi$  גדול יותר – הפרש הפאזה  $\Delta\Phi$  גדול יותר וככל ש- $\Delta\Phi$  קטן יותר הפרש הפאזה  $\Delta\Phi$  קטן יותר. במילים אחרות, ככל ש- $\Delta\Phi$  גדול יותר ריכוז החמצן נמוך יותר וההפך. את הגודל  $\Delta\Phi$  ניתן למדוד בצורה מאוד מדויקת באמצעים אלקטרוניים בזמן אמיתי וכך לחשב בזמן אמת את ריכוז החמצן, כמובן לאחר שנבצע כיוול כמותי.

חברת [PreSens](#) פיתחה את הטכנולוגיה לרמת תחכום המאפשרת לה למדוד בצורה מאוד מדויקת ריכוזי חמצן מרמות של עשרות PPM (חלקיק למיליון) ועד לרמות נמוכות של 1 PPB (1 חלקיק למיליארד). כאשר מים רגילים נמצאים במצב שכמות החמצן בהם היא מירבית, כלומר ברוויה ריכוז החמצן בהם הוא כ-8.5 PPM. אחד המאפיינים הייחודיים של חברת PRESENS הוא מגוון הממשקים האפשריים בין המכשיר לבין החומר הנבדק. משמקים אלו נכיר בעמודים הבאים:

1. ממשק למדידה ללא חדירה לאיזור הנבדק. בשיטה זו אנו מדביקים מדבקה עשויה מפולימר או מזכוכית בצדו הפנימי של המיכל בו רוצים למדוד (בתנאי כמובן שהדופן שקופה) ומאירים את החומר המיוחד באור ירוק דרך הדופן השקופה של הכלי. את האור הנפלט מהחומר קולטים חזרה דרך הדופן השקופה של הכלי וחזרה אל המכשיר לחישוב הפרש הפאזה וחישוב ריכוז החמצן.



2. מדידה באמצעות פרוב המוחדר לאיזור המדיד בצורה זו או אחרת.

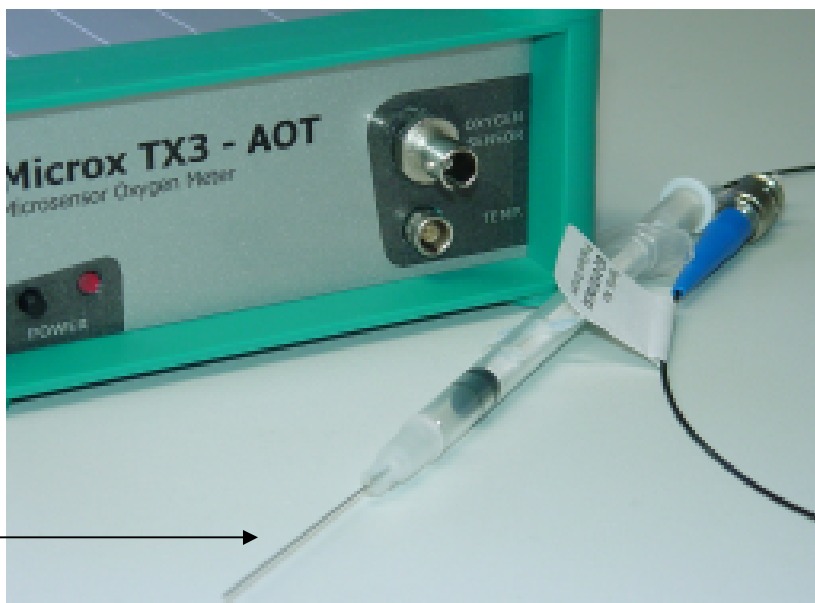


זהו פרוב המותאם לחיבור למיכלי פרמנטציה ומותאם להתחבר במקום אלקטרודות אלקטרוכימיות רגילות ללא צורך בשינוי המיכל.

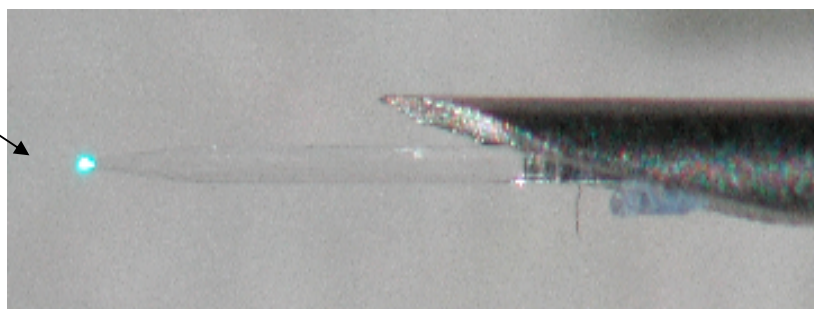
3. מדידה בתא זרימה



4. מדידה בתוך מקומות זעירים כמו בתוך אברים, אלמוגים וכד'.



הסיב שבקצהו החומר הפעיל מוחבא בתוך מחט של מזרק. המחט מוחדרת לאיזור המדידה ואז הסיב נדחף החוצה עם הבוכנה של המזרק לתוך איזור המדידה עצמו



הקוטר של הסיב בקצהו בערך 0.05 מ"מ. קוטר הסיב בחלקו העבה רק 0.14 מ"מ.



מחט מוחדרת לתוך ביצי דגים לצורך מדידות פעילות ביולוגית בזמן אמת.

להלן רשימה חלקית של שימושים שונים:

1. מדידות חמצן בתהליכים ביולוגיים שונים כמו באלמוגים (אוניברסיטת בר-אילן והאוניברסיטה העברית) באמצעות מחטים וחיישנים מודבקים.
2. מדידות חמצן במערכות קירור מים בגנרטורים של חברת החשמל בתחום של - PPB. המדידה נעשית באמצעות פרובים הטבולים בתוך צינור הזרימה של מי הקירור.

3. מדידת חמצן בתוך מיכלים מיוחדים לגידול תרביות של תאים בקטריאליים ואחרים באמצעות מדבקות פלסטיות בתוך המיכלים המיוחדים השקופים.
4. מדידת חמצן בביו-ריאקטורים.
5. מדידת קצב חדירת חמצן לבקבוקי משקאות – המדידה חשובה ליצרני הבקבוקים כיוון שהם מתחייבים לשמירת הטריות של המשקה לפרק זמן מזערי. קצב חדירה גבוה מדי יגרום למשקה להתקלקל מהר מדי. המדידה נעשית באמצעות חיישן המותקן בפקק ייחודי המורכב על הבקבוק לאחר שהוא "נשטף" עם חנקן נטול חמצן.